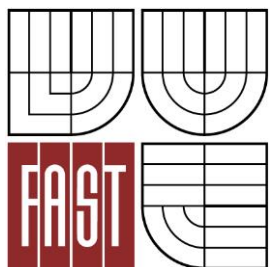




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

## VYHODNOCENÍ PROVOZU VODÁRENSKÝCH FILTRŮ

THE OPERATION ASSESSMENT OF FILTRATION UNITS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VERONIKA HANUŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Veronika Hanušová
<b>Název</b>	Vyhodnocení provozu vodárenských filtrů
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2014
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- [1] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990, 1194 s. ISBN 0-07-001540-6.
- [2] Operational control of coagulation and filtration processes. 2nd ed. Denver, Colo.: American Water Works Association, c2000, 103 s. ISBN 15-832-1055-5.
- [3] LIN, Shun Dar. Water and wastewater calculations manual. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2007, 945 s. ISBN 00-714-7624-5.
- [4] Water treatment plant design. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2005, 1 s. ISBN 00-714-1872-5.
- [5] Water treatment handbook. 7th [English] ed. Rueil-Malmaison, France: Degremont, 2007. ISBN 978-2-7430-0970-0.

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci bakalářské práce bude provedena rešerše zabývající se provozem vodárenských filtrů a především problematikou hodnocení provozu filtrů na úpravách vody. Práce bude obsahovat návrh možných kritérií vedoucích k objektivnímu vyhodnocení provozu filtrů s ohledem na separační účinnosti, kvalitu praní apod. Součástí práce bude i dílčí vyhodnocení vybraného provozu - jak podle navržených kritérií, tak i v návaznosti na předcházející výzkumné práce v dané problematice.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

V první části bakalářské práce je věnována pozornost poznatkům o provozu vodárenských filtrů, které byly získány z české a zahraniční literatury. V návaznosti na to je stanoven soubor kritérií hodnotící provoz filtrů. V druhé části práce je provedeno vyhodnocení provozu na úpravně vody v Hrobicích a Kroměříži.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Filtr, filtrace, praní filtru, výkon filtru, filtrační délka.

## **ABSTRACT**

The first part of this bachelor's thesis deals with knowledge of water works filtration gathered from Czech and foreign literature. Following this information is a group of criterions evaluating the working of filtration units themselves. Water treatment in Hrobice and Kroměříž is assessed in the second part of this thesis.

## **KEYWORDS**

Filter, filtration, filter backwashing, filter output, filtration length.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Veronika Hanušová *Vyhodnocení provozu vodárenských filtrů*. Brno, 2015. 62 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.5.2015

.....  
podpis autora  
Veronika Hanušová

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce, kterým je pan Ing. Tomáš Kučera Ph. D., za odborné vedení, poskytnutí literatury a za cenné připomínky během vytváření této práce. Dále bych ráda poděkovala zaměstnancům ÚV Hrobice a ÚV Kroměříž, kteří mi ochotně poskytli materiály a umožnili přístup do provozu.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>FILTRACE.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Mechanismus odstraňování nečistot .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Kontinuální filtry .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Pomalá biologická filtrace.....</b>	<b>14</b>
2.3.1	Příklad použití pomalé biologické filtrace.....	15
<b>2.4</b>	<b>Rychlofiltry.....</b>	<b>17</b>
2.4.1	Princip rychlofiltru .....	17
2.4.2	Filtrační náplň.....	18
2.4.3	Scezovací systémy.....	20
2.4.4	Praní rychlofiltru.....	24
<b>3</b>	<b>KRITÉRIA VEDOUCÍ K VYHODNOCENÍ PROVOZU FILTRŮ .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Délka filtračního cyklu .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Objem přefiltrované vody .....</b>	<b>29</b>
3.2.1	Filtry se zdánlivou filtrační rychlostí.....	30
3.2.2	Filtry s proměnnou filtrační rychlostí.....	30
<b>3.3</b>	<b>Filtrační délka .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Prací intenzita a objem prací vody.....</b>	<b>31</b>
<b>3.5</b>	<b>Zákal.....</b>	<b>33</b>
<b>3.6</b>	<b>Finanční rozvaha.....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>VYHODNOCENÍ PROVOZU ÚV KROMĚŘÍŽ .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Rekonstrukce filtrů.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Vyhodnocovací kritéria .....</b>	<b>36</b>
4.2.1	Výkon filtrů .....	36
4.2.2	Objemy filtrované vody.....	37
4.2.3	Filtrační délka .....	38
4.2.4	Objem prací vody .....	38
4.2.5	Čistá jednotková výroba .....	42
4.2.6	Finanční rozvaha.....	43



4.2.7	Výsledky rekonstrukce .....	44
<b>5</b>	<b>VYHODNOCENÍ PROVOZU ÚV HROBICE .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>Předúprava vody .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2</b>	<b>Filtrace .....</b>	<b>48</b>
5.2.1	I. stupeň .....	48
5.2.2	II. stupeň .....	50
5.2.3	III. stupeň .....	50
<b>5.3</b>	<b>Vyhodnocovací kritéria .....</b>	<b>51</b>
5.3.1	Objem prací vody .....	51
5.3.2	Objem filtrované vody a výkon filtrů .....	52
5.3.3	Filtrační délka .....	53
5.3.4	Čistá jednotková výroba .....	53
5.3.5	Finanční rozvaha .....	53
5.3.6	Zhodnocení .....	54
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>62</b>

# 1 ÚVOD

Filtrace je jedním ze základních procesů, které na úpravně vody probíhají. Pokud je v provozu vyžadován alespoň jeden separační stupeň, pak to musí být právě filtrace. Její průběh je inspirován jevy, které probíhají ve volné přírodě, a je zdokonalen tak, aby uspokojil potřebu odběratelů.

Pro její správný chod je nutné přistupovat při návrhu provozu individuálně s ohledem na vlastnosti vody a možnosti a očekávání investora. V ideálním případě by mělo být před výstavbou provedeno modelování, na jehož základě se dospěje ke vhodnému řešení. To však není vždy realizováno.

Aby měl provozovatel představu o tom, jak filtrační systém funguje, měl by mít databázi provozních údajů o tom, kolik upravené vody vyprodukoval a kolik jí naopak spotřeboval pro samotný provoz. Z těchto hodnot lze zjistit, zda je filtrace v dobrém či špatném stavu, případně lze na základě těchto údajů zvažovat rekonstrukci a stanovit si potřebné cíle.

V této bakalářské práci bude kromě rešeršní části o filtraci stanoven soubor kritérií, díky nimž bude možno provoz posoudit. To bude uskutečněno na základě informací dostupných z české a zahraniční literatury a především z údajů, které budou získány v různých provozech.

Za tímto účelem budou zpracovány provozní údaje z úpravny vody, která je již delší dobu v provozu a také z úpravny, na které proběhla rekonstrukce, jež měla vést ke zlepšení parametrů filtrace.

V závěru práce budou krátce shrnuty stěžejní body, kterým by se provozovatel měl věnovat. Také budou vyhodnoceny provozní údaje obou úpraven.

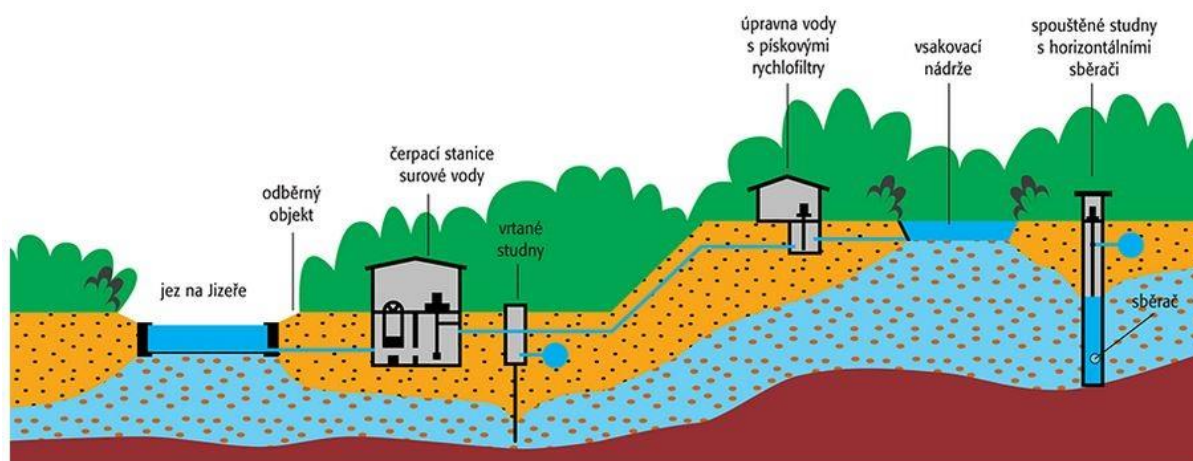
## 2 FILTRACE

Filtrace je nezbytný proces na každé úpravně vody se separačním stupněm. Jejím úkolem je odstranit částice nečistot přirozeně se ve vodě vyskytujících nebo vzniklých předúpravou. Plní tedy funkci jediného separačního stupně nebo posledního stupně separace, kterému může předcházet například sedimentace, flotace či jiný druh filtrace. [1]

V minulosti bylo vyvinuto několik typů filtrů. Jedná se o objemovou filtraci, náplavnou filtraci a filtraci membránovou. Každý z těchto typů disponuje dalšími variantami, které lze různě využívat a kombinovat s ohledem na vstupní podmínky a požadované výstupy. Právě filtrace objemová nachází na úpravnách vody největší uplatnění a existuje mnoho druhů. Jejich základní princip je však vždy velmi podobný. Jedná se o proces inspirovaný prosakováním podzemní vody skrz zrnitý materiál. Tento jev je využíván i při obohacování zdrojů podzemní vody vodou povrchovou, která po vsáknutí setrvává ve vhodné zemině i několik měsíců. Tím se přirozeně zbavuje škodlivých látek a postupně se dostává do jímacího zařízení, např. studny. Na úpravnách vody je však třeba tento jev co nejvíce urychlit, aby byl provoz schopen pokrýt potřebu odběratelů. [15]

Způsob filtrace vody pomocí zasakování byl využit v Ivančicích v rámci projektu, který zde probíhá od roku 2013, jehož účelem bylo mimo jiné i navýšení kapacity místního vodního zdroje. To je umožněno tím, že surová povrchová voda z řeky Jihlavy je systémem nádrží s filtračními vrstvami zasakována, odsud je čerpána na úpravnu k dočištění, následně je míchána s vodou z podzemních zdrojů. Před samotnou realizací však muselo být ověřeno, že voda z řeky je vhodná, tedy že neobsahuje žádné nebezpečné látky a prvky. [9]

Ukázkovým příkladem toho, že způsoby filtrace je vhodné i kombinovat, je Vodárna v Káraném, která je jedním ze zdrojů pitné vody pro Prahu. Do hlavního města dodává zhruba jednu třetinu celkové potřeby, produkuje kolem  $1\,000\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Vodárna je rozdělena do dvou částí. První tvoří systém břehové infiltrace na řece Jizeře, jejíž voda prosakuje přes šterkopískové náplavy. Druhá část je novější, jedná se o již zmíněné obohacování podzemních zdrojů vody, jde tedy o tzv. umělou infiltraci. Její průběh a objekty, které jsou k její realizaci třeba, ilustruje obr. 1. Voda z Jizery je nejprve čerpána do úpravně vody, kde proběhne mechanické předčištění na pískových rychlofiltrech, filtrát tedy tvoří pouze meziprodukt. Poté se voda čerpá do vsakovacích nádrží. Dno těchto nádrží je tvořeno šterkopísky. Po krátké době provozu se zde vytvoří biologická blána, nádrže tedy pracují jako

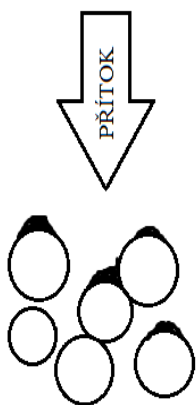


Obr. 1 Schéma umělé infiltrace v Káraném [16]

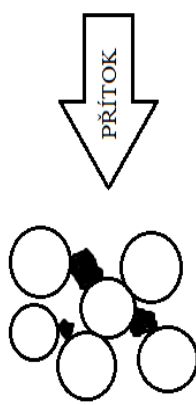
pomalé biologické filtry. Mají hlavní podíl na likvidaci biologického oživení ve vodě. V podzemí v prostoru mezi vsakovacími nádržemi a jímacími objekty následně probíhají další procesy, jako je zvýšení tvrdosti či vyrovnaní teploty, navíc je voda obohacena o potřebné minerály. Tímto složitým systémem je dosaženo toho, že původně voda z řeky je čerpána finálně jako voda podzemní a má natolik kvalitní parametry, že po hygienizaci míří přímo ke spotřebitelům. [16]

## 2.1 MECHANISMUS ODSTRAŇOVÁNÍ NEČISTOT

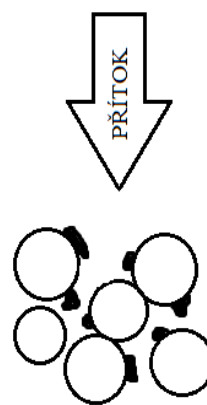
Nečistoty jsou z upravované vody odstraňovány jevy, které probíhají během průtoku vody filtrem. Jedná se o mechanické cezení, které zobrazuje obr. 2. Během cezení dochází k zachycování největších částic nečistot, tedy takových, které pro svoji velikost nemohou proniknout mezi zrna filtračního materiálu. Většina částic je však menší a proniká hlouběji do filtrační náplně, kde je část z nich odstraněna usazováním. To je způsobeno velkými rozdíly rychlosti proudění vody v mezerách mezi zrny. Zatímco v ose mezery jsou rychlosti nejvyšší, na jejich okrajích jsou výrazně nižší. Jak je na obr. 3 naznačeno, vlivem rozdílů rychlostí dochází k usazování na vrchlících zrn a v místě jejich styku. [1] Na obr. 4 je naznačen další jev podporující filtraci - adsorpce, při které jsou uplatňovány účinky Van der Waalsových sil. Částice však musí být dopraveny do vzdáleností menších než  $0,1 \mu\text{m}$  gravitací, setrvačností či jinými silami. V okamžiku, kdy se tak stane, částice nečistot ulpí na zrnech filtračního materiálu. Tento jev je velmi podobný poslednímu jevu umožňujícímu filtraci – Coulombovým silám. Jedná se o elektrostatické síly, které přitahují částice na základě rozdílných nábojů. [15]



Obr. 2 Mechanické cezení



Obr. 3 Usazování



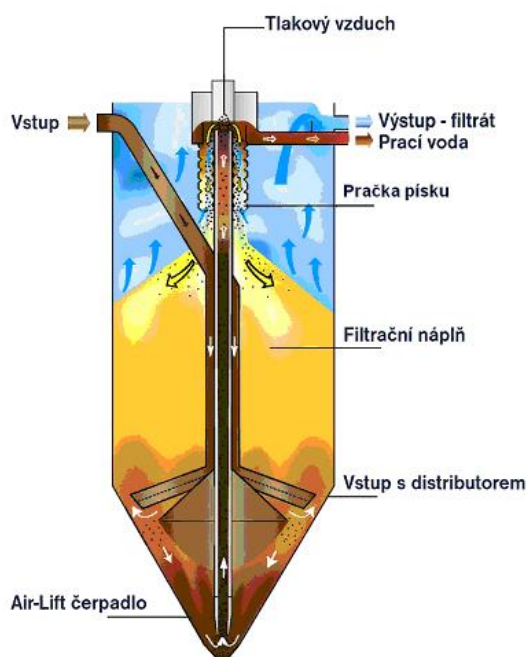
Obr. 4 Adsorpce

Jak již bylo zmíněno, existuje řada možností, jak může být objemový filtr sestaven. Vzájemně se liší filtrační rychlostí, směrem průtoku filtrované vody, rozlišujeme filtry s gravitačním a tlakovým průtokem. V neposlední řadě existuje velké množství materiálů, kterých může být použito na skladbu filtračního lože. Vhodnost určitého typu je nutno posoudit jak z hlediska látek, které mají být odstraňovány, tak z hlediska pořizovacích a provozních nákladů.

Každý filtr poskytuje jiné možnosti a tím pádem je v praxi uplatňován v různé četnosti a místě použití. Například tlakové filtry jsou často využívány u plaveckých bazénů nebo v průmyslových aplikacích. Ukázaly se být vhodnými i pro použití na malých úpravnách vody. Na větších úpravnách se zpravidla jedná o filtry s gravitačním průtokem, zejména pomalé biologické filtry a rychlofiltry.

## 2.2 KONTINUÁLNÍ FILTRY

Dalším multifunkčním druhem jsou filtry kontinuální. Jak již jejich název napovídá, jejich hlavní předností je to, že umožňují nepřetržitý provoz, bez prostojů kvůli pracím cyklům. Zvládají vysoké vstupní zatížení upravované vody, z tohoto důvodu jsou využívány pro úpravu technologických vod, své uplatnění nacházejí i na úpravnách podzemních i povrchových vod. Na obr. 5 je naznačeno, jak takový filtr funguje. Surová voda je přiváděna vnějším pláštěm středového potrubí pískového filtru do kuželového oddělovače, který vodu rovnoměrně rozdělí po filtračním loži. Voda postupně stoupá skrze lože a je zde filtrována čerstvě vypraným pískem. Písek se totiž ve filtračním loži posouvá kontinuálně směrem dolů, tedy proti směru vody. Znečištěný písek se usazuje na dně, odkud je čerpán čerpadlem do separačního prostoru, kde dochází k postupnému protiproudému čištění filtrátem. Čistý písek padá na horní vrstvu filtrační náplně a tím se proces začíná opakovat. [12] Tento typ filtrů byl zvolen jako vhodný pro rekonstrukci ÚV Frýdlant. [8]



Obr. 5 Kontinuální filtr [12]

## 2.3 POMALÁ BIOLOGICKÁ FILTRACE

Filtraci lze dělit do kategorií mimo jiné podle způsobu procesu odstraňování nečistot. Vedle chemických procesů, které jsou přítomny vždy, zde probíhají buď biologické, nebo fyzikální procesy.

Pomalá biologická filtrace je nejstarší typ gravitační filtrace. I přes omezené technické parametry je v určitých situacích provozována dodnes. Využívá právě biologických procesů, díky kterým má upravená voda velmi dobré vlastnosti. Přívlastek „pomalá“ získala na základě toho, že se zde filtrační rychlost pohybuje okolo  $0,1$  až  $0,2 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ , což je několikanásobně nižší hodnota než například u rychlofiltrů. [15] Poprvé byla uvedena do provozu již v roce 1829 podle návrhu Jamese Simpsona. [5]

Pro to, aby mohla být použita, je však nutné, aby upravovaná voda splňovala některé limitující faktory. Z organoleptických vlastností je to barva vody, která by neměla přesahovat  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt, dále zákal, jehož limitní hodnota je 100 ZF. Mezi další neméně důležité faktory patří oxidovatelnost do  $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$   $\text{O}_2$  a obsah suspendovaných látek do  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Na uvedené hodnoty je nutno upravit surovou vodu, lze využít usazování, hrubocezy či mikrofiltry. [14]

Pomalou filtrací jsou z vody odstraňovány dusitany a amonné sloučeniny, které jsou mineralizovány, nežádoucí mikroby a koliformní zárodky i hrubší a jemnější suspenze, koloidy a mikroorganismy. Organický fosfor se převádí na minerální fosforečnany. Lze jí také odstranit menší množství železa a manganu, není zde však možno použít koagulaci v rámci předúpravy vody. [14]

Filtrační lože se skládá z jemnozrnného filtračního písku zrnitosti  $0,3$ - $0,8 \text{ mm}$  o mocnosti asi  $1 \text{ m}$ , pod ním je asi  $0,3 \text{ m}$  šterku. Funkcí vrstvy šterku je zabránit vnikání jemného písku do scezovacího systému, který je uložen na dně filtru. [1]

Na povrchu lože vzniká průtokem filtrované vody blána ze suspendovaných částic a různorodé populace aerobních mikroorganismů, která na sebe dále navazuje přitékající nečistoty a tím pádem postupně sílí. Právě ve vytvoření biologické blány spočívá hlavní princip pomalé filtrace. Většina znečištění je tedy zachycována právě zde. Vzhledem k tomu, že vrstva s mikrobiálním osídlením dosahuje hloubky až  $0,4 \text{ m}$ , dochází k odstraňování nečistot i ve větších hloubkách, jejich množství však není rozhodující. [15]

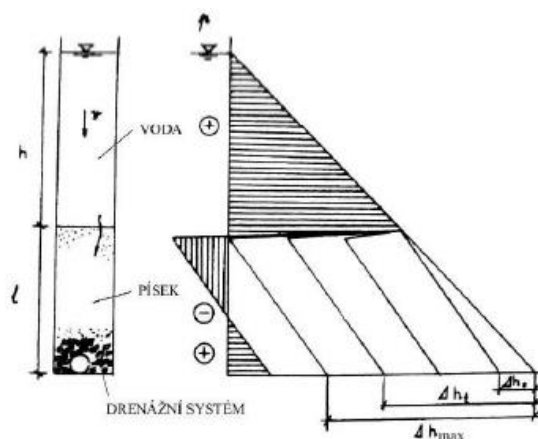
Aby aerobní mikroorganismy v bláně správně pracovaly, je třeba zajistit přítomnost kyslíku v upravované vodě. Neodpovídá-li hodnota nasycení kyslíku požadované hodnotě – alespoň  $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$   $\text{O}_2$ , je využíváno jednoduché aerace. Obsah kyslíku je důležitý zejména pro schopnost některých organismů zneškodňovat bakterie, které slouží jako jejich potrava. Činnost organismů je závislá také na teplotě. Při teplotách nižších než  $2^\circ\text{C}$  jejich činnost klesá na kritickou úroveň a choroboplodné bakterie mohou proniknout filtrem. Aerobní organismy jsou též zodpovědné za žádoucí mineralizaci sloučenin dusíku a fosforu. [14]

Pokud filtr pracuje správně, postupně se dosáhne nejvyšší účinnosti a filtr produkuje filtrát o požadovaných parametrech. Vzhledem k tomu, že účinnost biologické blány roste s rostoucí teplotou a naopak, doba zapracování a doba filtrace se značně liší v závislosti na ročním období. [1] V létě je doba zapracování dlouhá  $1$  až  $2$  týdny a doba filtrace  $1$  až  $3$  měsíce, v zimě jsou obě tyto hodnoty až dvojnásobné. [15]

Během doby filtrace však blána sílí a postupně začíná bytnět. Stává se tedy málo propustnou. Na takové bláně roste tlaková ztráta a proces ztrácí na efektu. Jak je naznačeno na obr. 6, nejvíce se zvyšuje tlaková ztráta v horní vrstvě filtru, kde se uchyťí největší podíl nečistot. Pokud ztráta přesáhne  $0,5 \text{ m}$ , je nutné zahájit regeneraci filtru. Ta spočívá ve shrábnutí povrchu filtru, obvykle se jedná o  $1$  až  $2 \text{ cm}$ , a opětovném vytvoření biologické blány. Dokud blána dostatečně nezesílí a nezačne produkovat filtrát požadované kvality, je nutno vypouštět filtrát do odpadu. Tato fáze je definována jako doba zapracování. [15]

Celý proces se tedy opakuje a filtrační lože má postupně nižší mocnost. Pokud je z něho odstraněno zhruba 50 až 60 cm, doplní se na původní výšku. [14]

V případě, že by nebyla provedena regenerace filtru, mohlo by postupně ve filtru dojít k podtlaku způsobenému tím, že voda by přes zbytnělou blánu nemohla projít, zatímco z dolních vrstev by dále odtékala. Tato situace je na obr. 6 naznačena znaménkem minus – ve filtru dochází k podtlaku. Jedná se nepřijatelný stav a musí se mu předejít včasnou regenerací. [1]



Obr. 6 Zvyšování tlakové ztráty na pomalém filtru v čase [15]

Délku doby filtrace ovlivňuje i přítomnost řas ve vodě, jejichž odumřelé zbytky slouží jako potrava bakteriím. Pokud ale klesne teplota, dochází k jejich náhlému hromadnému úhynu a jejich buněčný materiál způsobuje kolmataci filtru. Jelikož jsou ale řasy závislé na slunečním svitu, vyskytují se pouze v otevřených filtrech a jejich množství se dá značně omezit výstavbou zaklenutého filtru. [14]

Vzhledem k tomu, že je filtr během regenerace mimo provoz, musí být navrhovány vždy alespoň 2 filtry. Během regenerace filtru musí být bráno v potaz, že mikroorganismy biologické vrstvy snesou přerušení kyslíku maximálně na 24 hodin, poté hrozí jejich odumírání. Proto je třeba provádět shrabování rychle a efektivně. [14]

S ohledem na nízkou filtrační rychlost mají tyto filtry vyšší nároky na prostor, navíc je v našich zeměpisných podmínkách nutno tento prostor zajistit tepelnou izolací. [14] I tak ale nacházejí tyto filtry i nadále svoje uplatnění. Díky nízkým pořizovacím a provozním nákladům se často vyplácí v provozech nižších výkonů, kde zdroj surové vody splňuje limitní faktory. [15]

### 2.3.1 Příklad použití pomalé biologické filtrace

Jedním z mála provozů, kde lze v České republice pomalé biologické filtry najít, je ÚV Nová Ves v Horách. Projektovaný výkon úpravy je  $5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  a jsou zde provozovány dva pomalé filtry.

V roce 2009 zde probíhal poloprovozní experiment s osazením geotextilie na filtr. Na obr. 7 je viditelná již položená geotextilie. Standardním postupem se totiž filtr regeneruje tak, že se buď strojově, nebo manuálně shrábne povrchová vrstva filtru. To je však pracné, navíc dochází k ubývání filtrační náplně. Hlavní myšlenkou položení geotextilie na povrch filtru bylo, že v případě, že by se osvědčila její provozuschopnost, stačí pro regeneraci geotextilii

pouze svinout a nahradit novou. Na základě měření bylo zjištěno, že filtr, který má na sobě geotextilii, vykazuje stejné výsledky v parametrech, jako je koncentrace železa a manganu nebo CHSK jako filtr, na který geotextilie položena nebyla. Obr. 8 je makrosnímek již použité geotextilie, která by měla být vyměněna.

Po celou dobu produkovaly oba filtry vodu, která odpovídá platným legislativním požadavkům. Tento test tedy naznačuje, že pomalá biologická filtrace se v budoucnu může dočkat změn, které by mohly odstranit některé z jejích dosavadních nedostatků. [11]



*Obr. 7 Položená geotextilie na filtru [11]*



*Obr. 8 Makrosnímek použité geotextilie [11]*



## 2.4 RYCHLOFILTRY

Ve vodárenství mnohem více uplatňovaným způsobem je rychlá filtrace. Na rozdíl od pomalé filtrace tento způsob využívá v rámci předúpravy koagulaci. Ta umožňuje vytvoření lépe separovatelných částic velikosti až 10 mm, které je možno filtrovat při vyšších rychlostech. Tyto rychlosti se pohybují okolo 3,6 až 7,2 m·h<sup>-1</sup>. Zvyšuje se tak výkon filtru a snižují se požadavky na zastavěnou plochu. [1]

V některých vodárensky rozvinutých zemích lze na úpravnách vody běžně nalézt filtry s filtrační rychlostí 12 m·h<sup>-1</sup>, na konci 80. let byla pokořena hranice 24 m·h<sup>-1</sup>. Je nutno poznamenat, že zvyšování filtrační rychlosti umožnil především vzrůstající zájem o studium využití alternativních náplní a o celkové uspořádání filtrů. Zatím nejvyšších filtračních rychlostí bylo dosaženo roku 1987 v USA, kde byly uvedeny do provozu filtry s návrhovou rychlostí 32 až 34 m·h<sup>-1</sup> a i tak je zde dosahováno výsledné kvality filtrátu srovnatelné s filtrátem z rychlofiltrů standardních rychlostí. Jedná se o filtry Los Angeles Aqueduct Plant v Sylmaru. Využívání vyšších rychlostí je však umožněno, jen pokud je provedena kvalitní projektová příprava, ideálně poloprovozní zkoušky. [5]

Kromě vyšších filtračních rychlostí se od pomalých filtrů liší i vyšší zrnitostí, která se pohybuje od 0,5 do 2 mm. Tyto hodnoty se týkají nejčastěji využívaného křemičitého písku, v současné době je možno aplikovat i jiné materiály či jejich kombinaci. [1]

V důsledku toho, že zde nevzniká biologická blána a voda se čistí jen díky protékání skrz náplň, kde probíhají již výše zmíněné děje (tj. fyzikálně-chemické procesy jako je mechanické cezení, usazování, adsorpce, Coulombovy síly), se znečištění dostává do větších hloubek. Tomu odpovídá i jiný průběh nárůstu ztrátové výšky. Filtr má také kratší filtrační cyklus a pro jeho správný provoz je třeba praní.

Dle svého původu existují dva základní typy rychlofiltrů, které se liší v mocnosti filtrační vrstvy, v její zrnitosti a především v průběhu praní. Jedná se o americké filtry, které mají mocnost náplně 0,8 m a zrnitost od 0,4 do 0,7 mm. Během jejich praní je používána pouze voda. Oproti tomu evropské filtry mají filtrační vrstvu o něco mocnější – 1,1 až 1,8 m a vyšší zrnitost pohybující se od 1 do 2 mm. Pro praní je využito kombinace vzduchu a vody. [15]

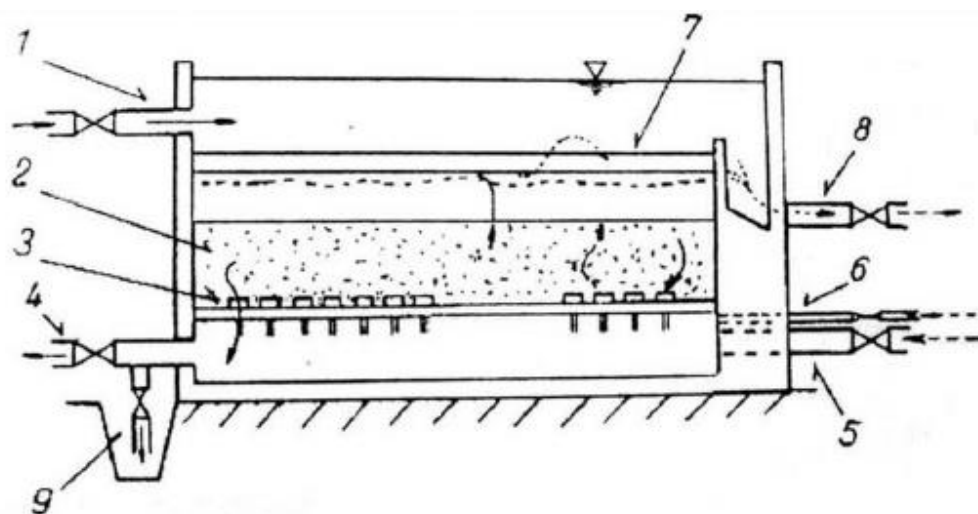
Z dalších hledisek můžeme filtry dělit na mnoho typů. Nejčastěji jsou však konstruovány jako otevřené gravitační filtry čtvercového či obdélníkového provedení s průtokem shora dolů. Proto jim je věnována převážná většina této práce. Nicméně velkou část poznatků lze s drobnými obměnami aplikovat i na jiné typy filtrů. [14]

### 2.4.1 Princip rychlofiltru

Jak naznačuje obr. 9, upravovaná voda přitéká potrubím nebo žlabem v horní části filtru. Vždy je snaha o to, aby upravovaná voda natékala na celou plochu filtru a tím bylo umožněno jeho rovnoměrné zatížení. Poté protéká filtrační vrstvou, která svým složením odpovídá druhu a množství znečištění, které je třeba odstranit. Dále se dostává skrze scezovací systém do odtokového potrubí pro filtrát a později do akumulární nádrže. [15]

Během praní je prací voda dodávána potrubím v dolní části. V případě potřeby praní evropského filtru je zde instalován i přívod pracího vzduchu. Přes scezovací systém se dostává voda přes filtrační lože nahoru. To způsobuje expanzi vody i filtračního materiálu. Abychom byli schopni odstranit nečistoty, je prací voda odváděna přepadem do odtokového

žlabu a do odpadu. V neposlední řadě je nutné, aby byl filtr opatřen potrubím, které umožní odtok filtrátu do odpadu během zafiltrování. [15]



- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1 | přítok upravované vody           |
| 2 | filtrační vrstva                 |
| 3 | scezovací systém                 |
| 4 | odtok filtrátu                   |
| 5 | přítok prací vody                |
| 6 | přívod pracího vzduchu           |
| 7 | přeliv pro prací vody            |
| 8 | odpadní potrubí pro prací vodu   |
| 9 | odpadní potrubí pro zafiltrování |

Obr. 9 Schéma rychlofiltru [15]

## 2.4.2 Filtrační náplň

Již v počátcích vodárenství si byli lidé vědomi, že na vhodnou volbu filtrační náplně závisí úspěšnost filtrace.

Filtrační materiál musí splňovat dva významné technické požadavky. Je jimi dostatečná odolnost proti otěru, která je velmi důležitá při praní, druhým požadavkem je chemická stálost. Proto volíme materiál vždy na základě vlastností upravované vody. Vedle těchto dvou nejdůležitějších parametrů je nutno také sledovat tvar zrna, hustotu a pórovitost. Vždy by se mělo vycházet ze zrnitostní křivky stanovené síťovým rozborem a z velikosti efektivního zrna. S tím souvisí i to, že náplň nesmí být příliš jemná, jelikož v takové situaci hrozí riziko, že bude písek pronikat skrz scezovací systém společně s filtrátem. Důsledkem toho by docházelo k zabraňování proudění vody, jehož druhotným jevem je nutnost častého praní. Na druhou stranu volba příliš hrubého materiálu může mít za následek nedostatečnou efektivitu odstraňování nečistot. [1]

Na základě pozorování přírody byl jako první filtrační materiál použit písek. Jedná se o dobře dostupný tradiční materiál, který je příznivý, co se pořizovacích nákladů týče, navíc vykazuje velmi dobré výsledky.

V současnosti jsou k dispozici materiály různých druhů a původů. Vedle ryze přírodních jsou další skupinou materiály vzniklé z přírodních materiálů po vhodné úpravě.

Jedná se například o Filtralite, který vzniká termickou úpravou jílu. Do této skupiny lze zařadit i drcený čedič či pemzu. Mohou však být využity i umělé materiály – plasty, sklo, keramika. [1]

## Dvouvrstvé filtry

V praxi jsou často využívány výhodné vlastnosti dvouvrstevných filtrů. Obecně lze ale říci, že v ideálním filtru by se měla náplň ve směru toku vody postupně zjemňovat. Z tohoto důvodu není opodstatněný kdysi formulovaný požadavek na přesné rozdělení jednotlivých vrstev. Pokud tedy dojde k částečnému promíchání vrstev, může to mít dokonce pozitivní vliv. [5]

Pro dvouvrstvé filtry jsou využívány kombinace filtračních náplní. Je však třeba vést v patrnosti, že nejhrubozrnnější materiál má obvykle nejnížší měrnou hmotnost, proto se během praní dostává na povrch. I s tím by se mělo při sestavování filtru uvažovat. Většinou se kombinuje lože z písku s povrchovou vrstvou hrubozrnnějšího antracitu. Jedná se o drcený tříděný materiál s nižší měrnou hmotností, než má písek. Na jeho místo lze použít i granulované aktivní uhlí (GAU), které umožňuje odstranit některé specifické organické látky včetně pesticidů a mikrocystin nebo vedlejší produkty dezinfekce. Pomáhá také zlepšovat organoleptické vlastnosti. Jde o vysoce porézní materiál, který má velmi dobré sorpční vlastnosti. [1] V případě potřeby odstranění železa nebo manganu je vhodné použít birm, jehož hlavní výhodou je snadné praní a dlouhá životnost, jelikož během jeho užívání nedochází k jeho rozpouštění. [2]

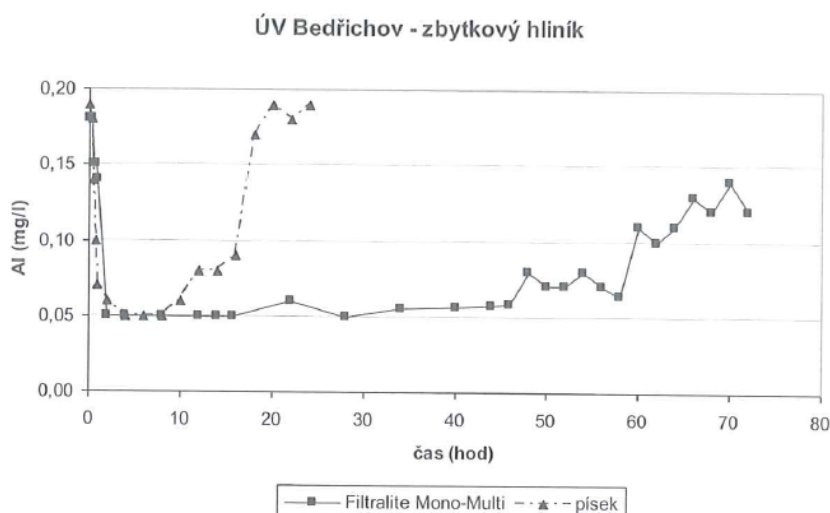
Lze také sestavit filtr s více než dvěma vrstvami, v takovém případě se může filtr obohatit o spodní vrstvu granátového písku s vysokou měrnou hmotností. Většina látek je zachycena v horní vrstvě, zbytek se odstraňuje v jemnějším materiálu hlouběji. [1]

## Porovnání písku a materiálu Filtralite

I přes to, že se jedná o poměrně nový materiál, Filtralite nachází v ČR stále větší uplatnění. Poprvé byl využit při rekonstrukci ÚV Bedřichov v severních Čechách. Na základě poloprovozních zkoušek zde bylo přistoupeno k investici do filtrační náplně Filtralite Mono-Multi pro čtyři z celkových osmi filtrů. Ve zbývajících čtyřech filtrech byla ponechána původní písková náplň. Je tedy možno porovnat výsledky provozu obou typů filtrů. [4]

Z následného měření vyplynulo, že hlavní rozdíl se projevil v délce filtračního cyklu, kterou demonstruje obr. 10. Zatímco filtry s pískovou náplní měly filtrační cyklus dlouhý asi 24 hodin, u filtrů s náplní Filtralite je to trojnásobek, tedy 72 hodin. [4] Dalším měřením bylo zjištěno, že pro dosažení požadované expanze během praní je materiál Filtralite možno prát s podstatně nižší intenzitou prací vody. [6] Vzhledem k těmto výsledkům bylo rozhodnuto, že bude provedena výměna náplně i u zbývajících čtyř filtrů. [4]

Na rozdíl od písku je Filtralite průmyslový produkt, z tohoto důvodu jsou pořizovací náklady tohoto materiálu několika násobně vyšší. Podle údajů z osobního sdělení pracovníků společnosti ENVI-PUR s.r.o., která Filtralite dodává po ČR a SR, se cena 1 m<sup>3</sup> pohybuje od 12 900 do 14 000 Kč bez DPH. Oproti tomu pořizovací cena 1 m<sup>3</sup> filtračního křemičitého písku je do 5 000 Kč bez DPH. Záleží tedy na finančních možnostech a rozvaze investora, který materiál zvolí.



Obr. 10 Porovnání délky filtračních cyklů písku a Filtralite Mono-Multi [4]

### 2.4.3 Scezovací systémy

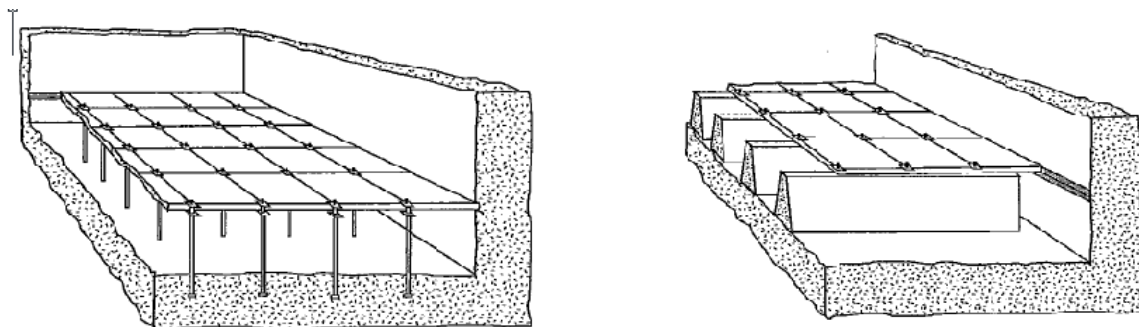
Scezovací systém se nachází pod filtrační náplní. Jeho úkolem je sběr filtrátu a jeho odvod do akumulace, aniž by docházelo k vyplavování náplně směrem do odtoku. Dále je to pak rovnoměrné dodání prací vody případně vzduchu. Obecně lze říci, že o dobré funkčnosti rozhoduje správné vyřešení otvorů, které mají zajišťovat rovnoměrný odtok filtrátu i přítok prací vody. Je proto nutné vhodně otvory umístit a zvolit jejich velikost, případně opatřit ochrannými prvky. V opačném případě může nastávat průnik zrn filtračního lože s filtrátem ven z filtru a to vede k degradaci upravené vody. Taktéž může docházet k ucpávání otvorů. Pokud tato situace nastane, některé části filtru mohou být během praní „mrtvé“, zatímco v ostatních místech se zvýší rychlost proudění. To vede k nerovnoměrnému praní a dalším provozním problémům. [1]

### Scezovací systémy s mezidnem

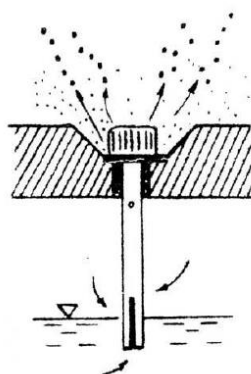
Jak z obr. 11 vyplývá, jejich součástí je betonová či ocelová deska - mezidno - umístěná nade dnem filtrační nádrže tak, aby mezi stěnou nádrže a okrajem desky nemohl protékat filtrát, musí zde tedy být provedeno utěsnění. V desce jsou umístěny scezovací hlavice, jejichž počet se pohybuje od 60 do 80 ks na 1 m<sup>2</sup>. Jejich provedení závisí na uspořádání filtračního lože. Pokud je mezi vrstvou písku a scezovacím systémem ještě vrstva šterku, pak scezovací hlavice nemají speciální úpravu. Pokud je písek uložen přímo na hlavicích, je třeba použít hlavice upravené tak, aby písek nemohl společně s filtrátem pronikat skrz scezovací systém. Hlavice mohou být ukotveny do dna nádrže šrouby nebo mohou být podpírány pilířky. Při procesu filtrace je filtrát pomocí hlavic odváděn pod mezidno. Ve fázi regenerace filtru je pod mezidno přiváděn prací vzduch a voda, ty se přes scezovací hlavice dostávají do náplně a je umožněn proces praní. [15] [1]

Hlavice se vyrábějí z umělých hmot a jejich nedílnou součástí je vrchní část opatřená svislými nebo vodorovnými šterbinami širokých několik desetin mm, aby skrz ně nemohla procházet zrna písku. Další důležitou částí je prodlužovací nástavec, na jehož konci je

štěrbina, která zajišťuje průtok filtrátu a prací vody. Pro snížení nebezpečí poškození hlavice je možné použití mezidna s prohlubněmi, do nichž se hlavice umístí. Detail tohoto provedení je zřejmý na obr. 12. [15]



*Obr. 11 Uložení scezovacích hlavice [1]*



*Obr. 12 Scezovací hlavice uložené v mezidně s prohlubněmi [1]*

## **Scezovací systémy bez mezidna**

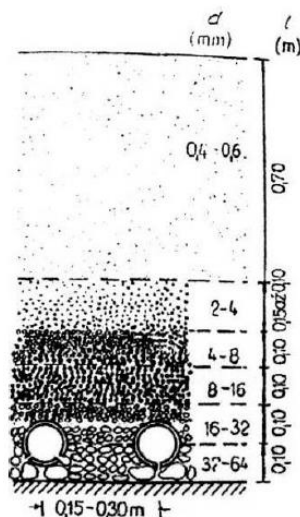
Jedná se o novější systémy a existuje řada druhů. Vzhledem k tomu, že v současné době je velká část úpraven v ČR ve stáří 30 až 40 let, je načase, aby probíhaly jejich rekonstrukce. Ty se provádějí jednak z důvodu opotřebení zařízení, ale také proto, že neustále se zhoršující kvalita surové vody a zvyšující se požadavky na parametry pitné vody si žádají nové lepší technologie. Jelikož mají systémy bez mezidna nižší konstrukční výšku, umožňují zvýšení filtrační náplně, případně i použití dvouvrstvého filtru, a tím zlepšit efektivitu filtrace. V řadě testů bylo také potvrzeno, že tyto systémy jsou vhodnější z hlediska praní, jelikož mají oproti systému s mezidnem více otvorů, kterými může prací voda a vzduch procházet. [7]

Pakliže se jedná o menší filtr, může být použit drenážní systém, který je běžně instalován i na pomalých filtrech. Jeho princip je založen na tom, že zhruba 0,5 m nad drenážním potrubím se postupně začne zvyšovat zrnitost, která na dně dosáhne z původních 0,8 mm až na 37-64 mm. Do nejhrubší frakce je přímo uloženo drenážní potrubí. Je tak zamezeno průniku jemných frakcí do potrubí, viz obr. 13. [15]

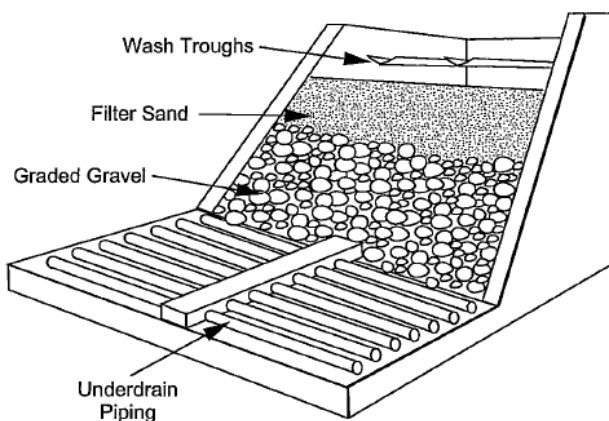
Pokud je na úpravě vody umístěn střední či větší filtr, jedním z možných provedení je systém s centrálním rozvodem, po jehož stranách vedou perforované sběrné trouby (Pipe Lateral Collectors). Jeho provedení naznačeno na obr. 14. Sběrné trouby mohou být z oceli či

PVC. Otvory pro průtok vody jsou většinou umístěny na spodní části trouby, kde je nejmenší riziko toho, že budou ucpány zrna písku. Takto umístěné otvory zajišťují, že prací voda je do filtru vháněna proti dnu filtru a tím pádem nedochází k nerovnoměrnému rozrušení filtračního lože. [1]

Vhodnou alternativou můžou být perforované dnové tvárnice. Jedná se o perforované bloky, v jejichž vnitřku jsou kanálky určené pro sběr a rozvod vody. Patří mezi hojně používané způsoby scezování. Na českém trhu je dostupný například systém amerického původu Leopold či Triton. [1]



Obr. 13 Scezovací systém bez mezidna u malého filtru [15]



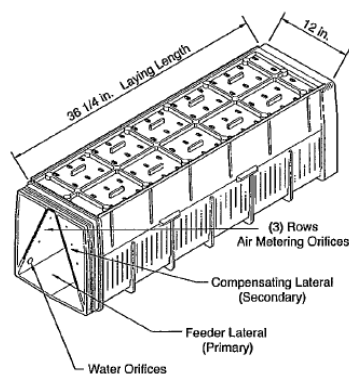
Obr. 14 Scezovací systém s centrálním sběrným potrubím [1]

## Scezovací systém Leopold

Je tvořen z plastových bloků obdélníkového profilu – obr 15. V každém bloku je veden společný rozvod vzduchu a vody. Sesazením bloků je dosaženo rovného povrchu drenážního systému. Průtok pracích médií je rovnoměrný a jejich účinnost je velmi vysoká, jelikož otvory tvoří téměř 25 % plochy filtru. Drenážní bloky lze krýt štěrkovou mezivrstvou či plastovou deskou s průlinami. [7]

Tento systém umožňuje rovnoměrné praní i v místech, která jsou vzdálena od centrálního zdroje prací vody a ve kterých by při použití jiných systémů docházelo ke snižování tlaku a průtoku. Je to zajištěno tím, že systémy Leopold využívají dvojitý průtok pracích médií, která vzájemným spolupůsobením umožňují řadu technických řešení. Díky tomu je možno systém Leopold použít prakticky pro všechny typy filtrů. [7]

V našich podmínkách byl využit například na ÚV Souš, kde bylo možno díky systému Leopold aplikovat dvouvrstvé filtry. Výsledky měření ukazují, že takto zrekonstruované filtry pracují až s překvapující sorpční účinností a filtrační délkou. [7] Po dobrých zkušenostech následovala aplikace tohoto scezovacího systému i na ÚV Hradiště, kde nahradil stávající systém s mezidnem. Tímto systémem jsou vybaveny i filtry na ÚV Káraný, která je jedním ze tří zdrojů zásobujících Prahu. [8]



Obr. 15 Detail systému Leopold [1]

## Scezovací systém Triton

Je tvořen vyztuženými nerezovými U profily, které jsou dobře viditelné na obr. 16. Jejich materiálem je zajištěna lepší odolnost proti korozi, mechanická odolnost a delší životnost. V profilu je veden společný rozvod vody a vzduchu obdobně jako u předchozího systému. Horní povrch U profilu je tvořen drátky, které mají štěrbinu konstruovanou tak, že je možné skrze ni odvádět vodu při filtraci a přivádět vodu a vzduch během praní rovnoměrně po filtrační ploše. Dráty mají trojúhelníkový průřez – tvar V. Díky této technologii a velké ploše otevření se riziko ucpávání štěrbin filtru snižuje a povrch filtračního segmentu se v případě potřeby snadno očistí. [7] [10]

Spodní vrstva štěrku není nutná, jelikož lze vyrobit drenážní segment, který bude vhodný pro jakoukoli zrnitost. Navíc se opět jedná o systém s nižší konstrukční výškou, tudíž lze zvýšit výšku filtrační vrstvy. [10]

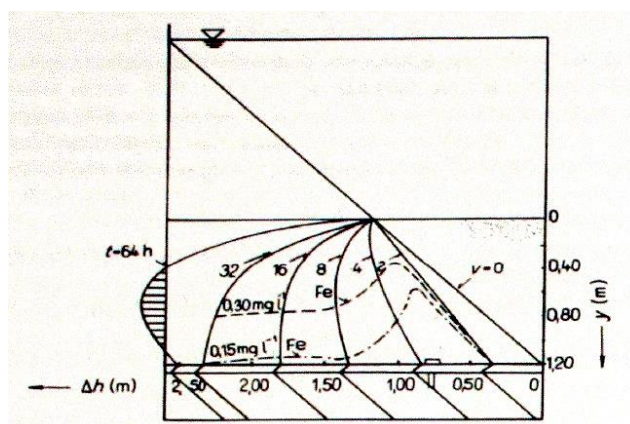
Tento systém byl využit při rekonstrukci ÚV Kroměříž a také ÚV Štítná nad Vláří, kde nahradil původní tryskový systém s plastovými hlavicemi a železobetonovým mezidnem. Bylo využito standartní šířky štěrbin – 0,3 mm. Pokrytí filtrační plochy drenážního systému filtračním médiem je větší o 27 % oproti původnímu systému. Tím se redukovaly i dosavadní mrtvé zóny. Po provedení rekonstrukce vykazují filtry velmi dobré výsledky. Navíc je systém Triton velmi snadný na výstavbu a jeho aplikace je rychlá. [10]



Obr. 16 Detail systému Triton [10]

#### 2.4.4 Praní rychlofiltru

Během filtrace dochází k postupnému ucpávání dutin mezi zrna filtru, tento jev je nazýván kolmatace filtru. Tím se snižuje jeho výkon a v konečném důsledku by mohlo dojít i k jeho tzv. proražení. Proto je praní nedílnou součástí filtračního cyklu každého rychlofiltru. Díky němu dochází k regeneraci filtrační náplně a tím je umožněno její opětovné použití. Správný chod filtru charakterizují některé ukazatele. Překročení alespoň jednoho z nich znamená ve správně řízeném provozu okamžité zahájení praní. [1] Jedná se především o nárůst ztrátové výšky, tj. tlakové ztráty. Ta je charakterizována jako výška vodního sloupce potřebná pro překonání odporu vrstvy náplně, drenážní soustavy, regulačního uzávěru a ztrát při proudění potrubím. Její mezní hodnota je obvykle udávána u otevřených filtrů jako 2,5 m v.sl., u tlakových je to 5 m v. sl.. Jelikož se nečistoty dostávají do celé hloubky náplně, nárůst tlakové ztráty se svým průběhem liší od pomalých filtrů. Z obr. 17 vyplývá, že nejvyšších tlakových ztrát je dosahováno několik centimetrů pod povrchem filtrační náplně. Pokud by ve filtru nastal takový průběh ztrát, který je na obr. 17 naznačen šrafovou, hrozilo by již zmíněné proražení. To vzniká v důsledku toho, že zatímco přitékající voda nemůže prosakovat filtrem kvůli příliš vysoké tlakové ztrátě vzniklé kolmatací filtru, ze spodních vrstev voda stále odtéká. Uvnitř filtru tedy vzniká podtlak, který vede ke vzniku trhlin. Těmi sice voda proudit může, nicméně není prakticky filtrována a její kvalita neodpovídá požadavkům. Proto je nezbytné se této situace vyvarovat. [1]



Obr. 17 Průběh tlakových ztrát v rychlofiltru [14]

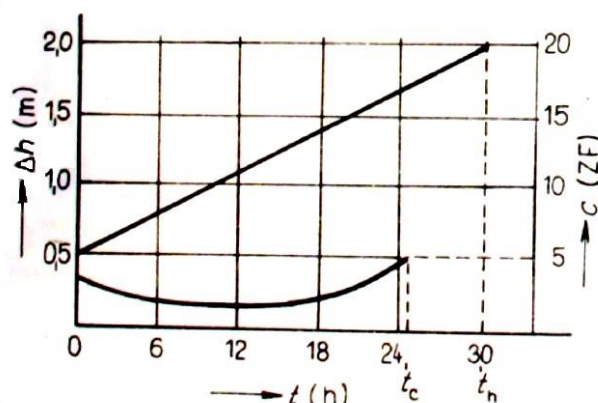


Druhým velmi důležitým parametrem je zákal. Je přirozené, že během filtrační doby se kalová kapacita filtru snižuje. V určitém okamžiku může být ale i překročena limitní hodnota zákalu ve filtrátu. Proto je nutný monitoring, který umožní tomuto stavu předcházet, protože při vyšším zákalu je možné, že budou do filtrátu pronikat mikroorganismy. [1]

Pokud je v rámci předúpravy používána koagulace, je nutné kontrolovat i množství Al a Fe koagulantu proniklého do filtrované vody, překročení limitního množství není žádoucí. [14]

Dále je kladen důraz na snahu o to, aby na filtru nastala maximální ztrátová výška po stejně dlouhé době, jako za kterou je dosaženo limitní hodnoty zákalu ve filtrované vodě. Příklad, jak může průběh těchto dvou parametrů vypadat, charakterizuje obr. 18. [15] Z obrázku je zároveň patrné, že ztrátová výška roste lineárně, zatímco zákal je na začátku filtrační doby vyšší než v jeho pozdějším průběhu. Je to způsobeno nezpracovanou vrstvou, která podává nejlepší výkon až po delší době cyklu. Pro dosažení obou limitních parametrů ve stejnou dobu je třeba brát v potaz výšku náplně, zrnitost, rychlost a druh suspenze. [14]

Posledním parametrem je překročení teoreticky přípustné doby filtračního cyklu.



Obr. 18 Porovnání časového průběhu tlakové ztráty a zákalu na výtoku [14]

Je třeba vést v patrnosti, že dobře vypraný filtr funguje déle. Pro praní se používá vždy upravená voda, která může pocházet ze sítě nebo zásobního vodojemu. Aby bylo filtrační lože řádně vyčištěno, je třeba ho rozrušit tak, aby se o sebe jednotlivá zrna vzájemně třela a tím se zbavovala povlaku z nečistot. To je zajištěno expanzí materiálu o 20 až 30 %, která vzniká prouděním tlakové vody filtrem. Použitá prací voda přepadá společně s vyplavenými nečistotami do sběrného žlabu a vypouští se do odpadu, ve výjimečných případech lze její část znovu filtrovat. [1]

Pro zlepšení účinnosti je doporučováno použití povrchových trysek, které rozruší povrchové znečištění ještě před začátkem praní a zajistí rovnoměrné rozložení znečištění po celé hloubce filtru. [1]

Průběh praní filtru se liší podle jeho typu, tedy zda jde o evropský či americký filtr. Existují obecné postupy pro to, jak má praní probíhat. Ve skutečnosti závisí přesné doby praní a intenzity pracích médií na tom, jak vysoké je množství kalu a také na jeho struktuře. Praní je proto vhodné poloprovozně odzkoušet. Návrh praní je správný, pokud jeho účinnost dosahuje 80 až 90 %. [15]

Před tím, než je vypraný filtr schopen produkovat filtrát požadovaných kvalit, probíhá fáze tzv. zafiltrování. Tato fáze je zařazena do cyklu proto, že na začátku filtračního cyklu jsou ještě stále protékající vodou odplavovány nečistoty, které byly sice během praní rozrušeny, nikoli však vyplaveny a odvedeny pryč z filtru. Navíc není filtrační náplň dokonale usedlá. Proto je nezbytné po určitou dobu vypouštět filtrát do odpadu, dokud se parametry

filtrátu nezlepší na požadovanou úroveň. Obvykle se jedná o dobu v řádu několika minut. [15]  
[1]

Z popisu procesu praní vyplývá, že během něho je filtr mimo provoz. Vždy se tedy při návrhu musí dbát na to, aby během praní filtru byly ostatní filtry schopny produkovat dostatečné množství filtrované vody. Z tohoto důvodu se filtry navrhují po 2 nebo 3 jednotkách. [14]

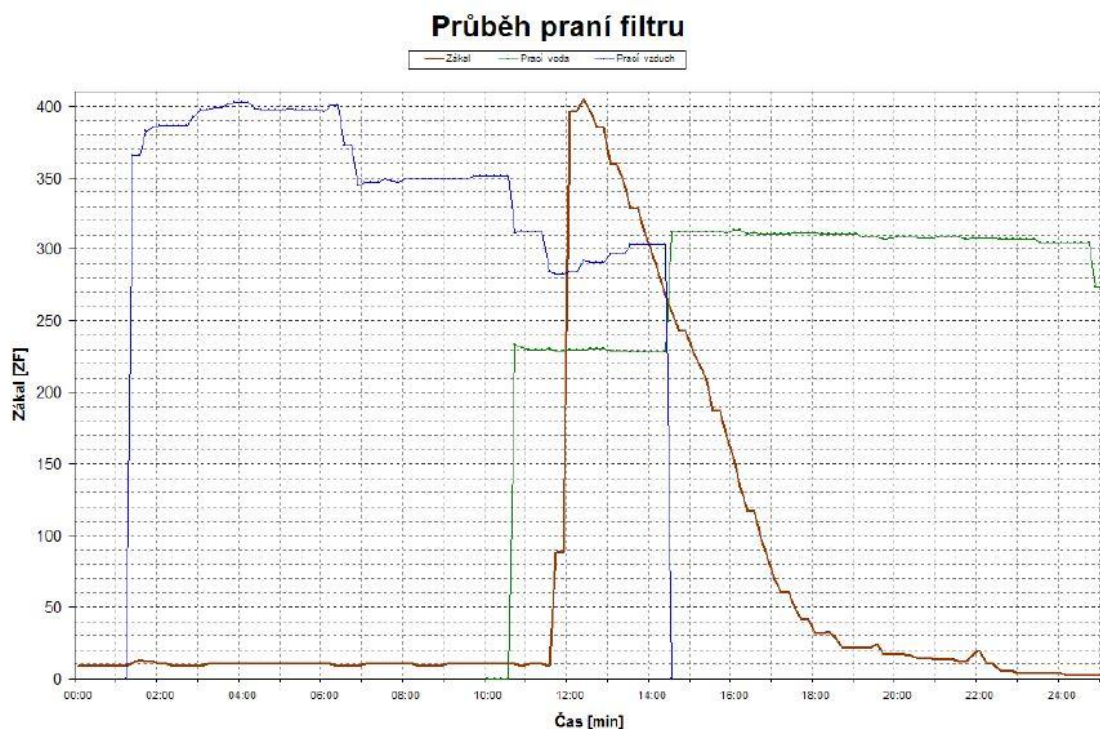
## Praní filtru evropského typu

Tento druh filtru je na našich úpravárnách používán nejčastěji. Pro jeho praní je používána jak voda, tak vzduch. Z grafu, tj. obr. 19, vyplývá, že proces probíhá ve třech fázích. [15] Jedná se ale pouze o ukázkový model praní, v konkrétním provozu by měl být upraven dle skutečné potřeby.

První fází je praní tlakovým vzduchem o vysoké intenzitě – 17 až 22  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Vzduch je vháněn scezovacím systémem umístěným pod filtrační náplní. Vlivem jeho proudění v náplni dochází k mechanickému ořezu zrn písku. Tato fáze trvá 3 až 5 minut. [15]

Ve druhé fázi nastává praní vzduchem i vodou. Intenzita vzduchu je snížena na 10 až 15  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  a přidává se tlaková voda o intenzitě 4 až 5  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Voda způsobuje expanzi náplně, která trvá 5 až 10 minut. [15]

V poslední dopírací fázi je přívod vzduchu uzavřen a probíhá praní pouze vodou, která má vyšší intenzitu – 6 až 8  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Tato fáze probíhá nejdelší dobu, její trvání se pohybuje v rozmezí 10 až 20 minut. [15]



Obr. 19 Průběh praní evropského filtru [15]

## **Praní filtru amerického typu**

Filtry amerického typu byly vyvinuty přibližně ve stejné době jako ty evropské, ale v USA. Kromě zrnitosti se od evropských liší i průběhem praní. Je používáno pouze praní vodou a střídání horního a dolního praní. [15]

Na počátku se po snížení hladiny vody ve filtru zahájí rozrušování horní vrstvy náplně vodními paprsky, které jsou rozstříkovány tryskami umístěnými nad hladinou filtru, jedná se tedy o horní praní, které trvá 2 až 4 minuty. Další fáze probíhající 2 až 3 minuty je kombinací horního a dolního praní. Dolní praní způsobené prouděním tlakové vody ze scezovacího systému směrem nahoru zajišťuje expanzi, horní trysky nadále pokračují. Ve třetí fázi je horní praní pozastaveno a po dobu 1 až 3 minut se filtr dopírá spodním praním. [15]

### 3 KRITÉRIA VEDOUcí K VYHODNOCENí PROVOZU FILTRŮ

Pro správný provoz filtru je vždy třeba stanovit kvalitativní parametry filtrů a jejich limity, do kterých jsou výstupní hodnoty jednotlivých parametrů akceptovatelné. V případě, že je jeden limit překročen, filtrační cyklus musí být ukončen a mělo by být zahájeno praní.

Abychom byli schopni posoudit, zda jsou limity překračovány po požadovaném výkonu filtru, je vhodné měřit technologické parametry, jako je délka trvání filtračního cyklu, a objem přefiltrované vody, z nichž lze odvodit i další parametry jako je filtrační rychlost. Z těchto hodnot lze následně získat filtrační délku. Během praní by měla být sledováno prací intenzita, objem prací vody a kombinací těchto výstupů s hodnotou filtrační délky lze stanovit i čistou jednotkovou výrobu filtru. Ta se stává nezbytnou součástí při hodnocení hospodárnosti provozu filtru. O všech zmíněných parametrech pojednávají podrobněji další kapitoly. [5]

Každé technologické zařízení má hranice svých možností, ale pokud je návrh vhodného filtru uskutečněn na základě podrobné analýzy, je pravděpodobné, že bude docíleno lepších výsledků. Jelikož má na účinek filtrace velký vliv například i geometrie pórů, která může způsobovat tvoření nánosů, je nutno přistupovat k návrhu detailně. Účinnost filtru totiž ovlivňují vedle použitého druhu náplně či způsobu praní i vlastnosti přitékající vody, jako je zákal či pH. Obě zmíněné vlastnosti je možno ovlivnit a neměly by být podceňovány. [13]

Touto problematikou se zabývala dvojice Molnár a Harnett, kteří zkoumali účinnost vícevrstvého filtru. Během osmi pokusů na filtrech složených ze tří vrstev – povrchová byla tvořena hrubšími zrny antracitu, poté následoval křemičitý písek, spodní vrstvu tvořil magnetit – zkoumali, jak pH ovlivní účinnost filtrace. Jako přitékající vodu zvolili pitnou vodu s příměsí kaolínové suspenze, jejímž úkolem bylo simulovat zákal. [13]

Během prvních čtyř pokusů bylo vodě ponecháno přirozené pH v hodnotě 7,4. V takovém případě bylo porovnáním zákalu na přítoku a odtoku zjištěno, že filtry měly nízkou účinnost, která se pohybovala od 10 do 37 %.

V případě zbývajících pokusů bylo uměle sníženo pH na 4,2. Pro tento účel byl využit roztok HCl. Vzhledem k tomu, že snížené pH umožnilo tvoření lépe separovatelných větších částic, došlo ke zvýšení účinnosti filtrace na 38 až 62 %. Z tohoto pokusu jasně vyplývá, že vcelku jednoduchým zásahem, jako je úprava pH, lze účinnost zvýšit několikanásobně. [13]

### 3.1 DÉLKA FILTRAČNÍHO CYKLU

Čas, který uplyne od počátku filtračního cyklu do jeho ukončení, je délka filtračního cyklu, obvykle je značena jako  $\Delta t$ . Tato hodnota udává informaci o tom, jaká je potřebná frekvence praní při známém zatížení filtru. [5] Většinou se jedná o časový úsek v délce 24 až 48 hodin.

V souvislosti s délkou filtračního cyklu by měl mít každý filtr stanovenou teoretickou délku filtračního cyklu. Ta je důležitá zejména u filtrů, které filtrují kvalitní surovou vodu. U nich je možné dosáhnout filtrační doby až jeden týden. Nicméně tak dlouhý cyklus může způsobit prudký nárůst organických látek a mikroorganických populací v loži a jejich zahánění. Tento jev vede ke vzniku pachutí a pachů filtrované vody. Navíc se uvnitř vytváří lepivá slizovitá hmota, díky níž je obtížné filtr kvalitně vyprat. [1]

Krátký filtrační cyklus způsobuje sice nižší produkci filtrované vody a vyšší spotřebu vody prací, nicméně je zajištěn bezpečný provoz. [1]

Spolehlivým podkladem pro stanovení optimální délky je měření tlakových ztrát a jejich průběh. Tak lze získat informaci o tom, kdy končí optimální časový úsek pro filtrování a provoz se stává neefektivním. Tento údaj je vhodné doplnit o hodnoty průniku zbytkového koagulantu, absorbance, organismů, či CHSK. [5]

Jak již bylo zmíněno, délka filtračního cyklu závisí na kvalitě přiváděné surové vody. Dále záleží na druhu a vlastnostech filtračního materiálu a na rychlosti průtoku filtrované vody. Proto ji lze orientačně stanovit pomocí kalové kapacity, což je hmotnost nečistot zachycených v objemu vrstvy o ploše  $1 \text{ m}^2$  po výšce vrstvy  $l$ . Platný vztah pro výpočet je [15]:

$$\Delta t = \frac{K}{c_0 \cdot v} [\text{s}],$$

kde	$K$	je kalová kapacita $[\text{g} \cdot \text{m}^{-2}]$ ,
	$c_0$	je hmotnostní koncentrace na přítoku $[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$ ,
	$v$	je povrchová rychlost $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ .

Kalovou kapacitu lze určit experimentálně odebráním sond z různých vrstev filtrační náplně. [15]

Samotná délka filtračního cyklu však nepřináší směrodatný údaj o tom, zda filtr pracuje správně. Nebere totiž v úvahu, kolik filtrátu bylo za časový úsek vyprodukováno.

### 3.2 OBJEM PŘEFILTROVANÉ VODY

Objem filtrátu, který filtr za určitou dobu vyprodukuje, je jedním z nejdůležitějších údajů, které může provozovatel získat. Jeho hodnota závisí na průtoku vyprodukovaného filtrátu, který se měří za filtrem, a na délce filtračního cyklu. Jedná se o součin těchto dvou hodnot. Obvykle je značen jako  $V$ , jeho jednotkou je  $\text{m}^3$ .

Stejně jako u délky filtračního cyklu je nutné zdůraznit, že samotný objem přefiltrované vody nepřináší přesný obraz toho, jak filtr funguje. Sice je získán údaj o množství filtrátu, toto číslo však není vztaženo k tomu, kolik ho vyprodukuje  $1 \text{ m}^2$  plochy filtru. Je tedy možné, že se může zdát objem filtrátu velký, ale po vztažení na plochu filtru je zjištěno, že filtr má nízký výkon.

Průtok je však veličina závislá na rychlosti. Pokud během provozu dochází k náhlým výkyvům rychlosti, hrozí zde riziko pronikání již dříve usazených částic skrz filtrační náplň. Výkyvy mohou být způsobeny například poruchou na přiváděči či špatnou funkcí průtokoměru. Pokud je potřeba zvýšit výkon filtrů z důvodu rostoucí potřeby filtrátu, je vhodné navyšovat rychlost po 10 minutových úsecích. [1]

V minulosti byly vyvinuty dva typy filtrů, které se od sebe liší právě časovým průběhem rychlosti během filtračního cyklu. [15]

### 3.2.1 Filtry se zdánlivou filtrační rychlostí

Zde je rychlost charakterizována jako povrchová rychlost neboli plošné zatížení. Charakterizuje, jakou vzdálenost vodní sloupec o ploše  $1 \text{ m}^2$  za určitý časový úsek prosakováním skrze lože urazí. Tato rychlost však není rychlost skutečná, protože voda prochází mezi zrny mnohem rychleji. Během filtrace je v tomto případě snahou rozdělit mezi filtrační jednotky filtrované množství rovnoměrně. Bez ohledu na fázi filtračního cyklu filtru je na každém filtru filtrováno množství vody odpovídající aritmetickému počtu filtrů. Vzhledem k tomu, že u vypraného filtru je průchodnost mezi zrny lepší, tím pádem je zde i vysoká skutečná rychlost, vznikají mezi filtračními rychlostmi jednotlivých filtračních jednotek poměrně velké rozdíly. Ty dále ovlivňují kvalitu výsledného filtrátu. Regulace odtoku z filtrů je zajištěna regulační klapkou, která je řízena hodnotou tlakové ztráty na filtru. Tento způsob je aplikován na většině provozů v ČR. [15]

### 3.2.2 Filtry s proměnnou filtrační rychlostí

Proces, který lépe napodobuje přirozené podmínky při vsakování v přírodě, využívá filtraci s proměnnou filtrační rychlostí. Voda je na jednotlivé filtry rozdělována tak, že každá jednotka si z celkového množství odebírá takovou část, která odpovídá jejímu skutečnému stavu zanešení. Tohoto stavu je docíleno tak, že hladina nad filtrační náplní dosahuje ve všech filtrech stejné úrovně, zároveň mají všechny filtry společnou odtokovou regulaci. Tak je dosahováno i vyšší kvality filtrátu. [15]

## 3.3 FILTRAČNÍ DÉLKA

Filtrační délku lze nazvat i jednotkovou výrobou filtru. Bývá označena jako  $L_f$ , její jednotkou je  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ , resp. m. Jak již její jednotka napovídá, jedná se o parametr, který přináší informaci o tom, kolik metrů krychlových vyprodukoval metr čtverečný plochy filtru za určitou dobu, obvykle se jedná o délku filtračního cyklu. [5]

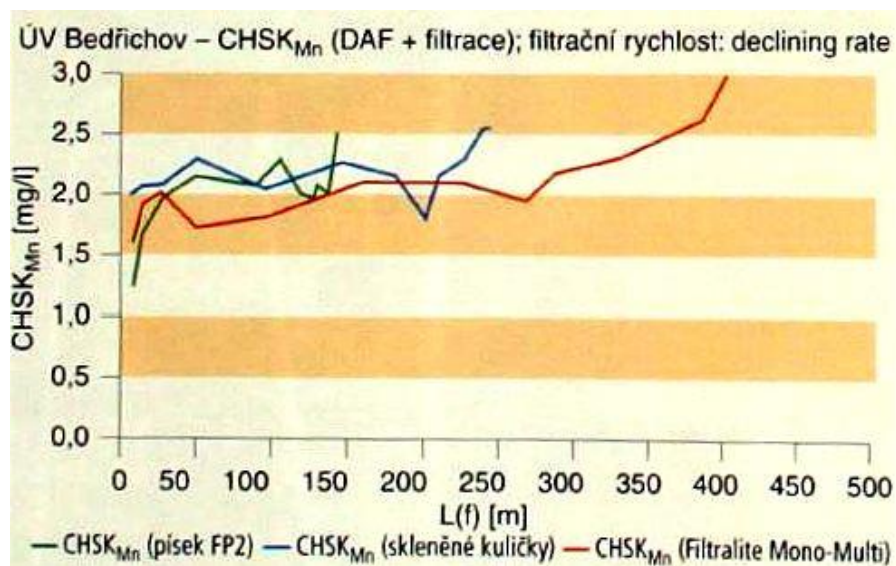
S tímto parametrem úzce souvisí čistá jednotková výroba filtru  $L$ . Tu lze získat, pokud je od filtrační délky odečten objem spotřebované prací vody na jedno praní vydělený plochou filtru  $L_p$  – lze ji nazvat prací délkou. Čistá jednotková výroba filtru je základním parametrem pro srovnání různých variant filtrů. [5]

Srovnání funkce filtrů by mělo být vždy vztaženo k filtrační délce, ještě lépe k čisté jednotkové výrobě, jelikož se jedná o parametry, vůči kterým můžeme porovnávat hodnoty,



pokud pracujeme s různými filtračními rychlostmi, případně pokud se jedná o systém v režimu s klesající rychlostí. [6]

Tohoto parametru bylo využito například pro porovnávání filtračních materiálů na ÚV Bedřichov. Zde byly vytvořeny modely se třemi náplněmi. Jednalo se o písek PF 2, skleněné kuličky a Filtralite Mono-Multi. [6] Jak ukazuje obr. 20, průběh hodnot CHSK byl vynášen v závislosti na filtrační délce, stejně se postupovalo u filtrační rychlosti a tlakových ztrát, na základě čehož mohl být vyhodnocen nejvhodnější materiál.



Obr. 20 Závislost CHSK na filtrační délce [6]

### 3.4 PRACÍ INTENZITA A OBJEM PRACÍ VODY

Volbou správné prací intenzity lze výrazně ovlivnit náklady, které jsou s praním spojené. Cílem by tedy mělo být maximalizování efektivity praní, toho lze docílit, pokud bude brán zřetel na typ provozu. Různé druhy náplně potřebují odlišné intenzity praní, stejně tak je to se znečištěním.

Velké množství provozních problémů souvisí právě s praním, proto by mu měla být věnována dostatečná pozornost, dále je důležité mít k dispozici funkční technické vybavení, kterým lze průběh praní kontrolovat.

V provozech je často nastavena celoročně jedna prací intenzita. Vzhledem k tomu, že se ale s měnící se teplotou mění i viskozita vody, dochází k tomu, že v letním období je filtr prán nedostatečně. Při opakování nedostatečného vyprání filtru mohou v jeho náplni vznikat koule z nečistot, v anglické literatuře tzv. mudballs, které se zde postupně usadí a následně jsou velmi těžko odstranitelné. Na druhou stranu v zimním období dochází k přílišné expanzi a to vede k ubývání filtrační náplně, která se dostává do odtokového žlabu a následně do odpadu. [3]

V literatuře lze nalézt vzorová doporučení, jak by mělo praní probíhat. Z takových doporučení lze sice vycházet, vždy však záleží na konkrétním zařízení. V případě, že v provozu je americký filtr, lze jako počáteční verzi průběhu praní použít tyto intenzity a rychlosti [3]:

Tab.1 Návrh pracích intenzit a doby praní pro americké filtry [3]

intenzita	povrchové trysky	61	$l \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$
	praní	733	$l \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$
doba trvání	povrchové trysky	3	min
	praní	8	min
objem vody	povrchové trysky	183	$l \cdot m^{-2}$
	praní	5 867	$l \cdot m^{-2}$
	celkem	6 050	$l \cdot m^{-2}$

Jak již bylo zmíněno dříve, při praní evropského filtru nejdříve dochází k intenzivnímu rozrušení náplně vzduchem, následně je intenzita vzduchu snížena a začíná praní vodou o nízké intenzitě. Ve třetím kroku je přívod vzduchu zavřen úplně a intenzita praní vodou nabývá svého maxima. Poté je praní u konce. Z tab. 2 lze získat přibližnou informaci o tom, jak by mohlo vypadat praní evropského filtru o výšce náplně  $H_N$  zhruba 75 cm. Při výpočtu musí být uvažována i výška hrany žlabu nad povrchem filtrační náplně  $H_Z$ , neboť i tuto výšku musí prací voda překonat. Součtem těchto dvou výšek je získána výsledná výška  $H$ . Pakliže je předpokládána určitá intenzita praní  $v_{in}$ , pak podílem celkové výšky a intenzity získáme čas  $t$ , po který by mělo praní o nízké intenzitě probíhat. Pokud tuto dobu využijeme i pro praní o vysoké intenzitě a budeme během ní uvažovat intenzitu  $v_{iv}$ , pak součinem těchto hodnot docílíme objemu vody  $V$ , který je třeba pro vyprání  $1 m^2$  filtru. [3]

Tab.2 Návrh pracích intenzit a doby praní pro evropský filtr [3]

$H_N =$	75 cm	
$H_Z =$	25 cm	
$H =$	100 cm	
$v_{in} =$	$2\,034 \text{ } l \cdot min^{-1} \cdot m^{-2} =$	$0,21 \text{ } m \cdot min^{-1}$
$t =$	5 min	
$v_{iv} =$	$733 \text{ } l \cdot min^{-1} \cdot m^{-2} =$	$2,41 \text{ } m \cdot min^{-1}$
$V =$	$4\,586 \text{ } l \cdot m^{-2}$	

V obou příkladech se jedná pouze o ukázky, skutečný průběh praní by měl být stanoven na základě zkušeností provozovatele. Hlavním ukazatelem toho, že je filtr doprán, jsou neměnní se parametry vody na odtoku prací vody. [3]

Pro řízení procesu praní lze použít i počítače, které každých 60 sekund ověřují data. Vyhodnocují například, zda je již jedna fáze u konce a je tedy možno započít další. Nicméně v takovém provozu mohou nastat prodlevy v komunikaci. Pokud tedy počítač není dobře nastaven, dochází k využití zbytečně velkého objemu prací vody a k prodlužování doby praní. Tím dochází ke snižování čisté produkce filtrátu, což vede k menší hospodárnosti zařízení. [3]

Optimalizace procesu praní je v současnosti jeden z hlavních důvodů, proč jsou úpravní vod rekonstruovány. Analýzami různých provozů bylo zjištěno, že optimální



množství prací vody je by nemělo překročit 4 % filtrované vody. V takovém případě je provoz hospodárný. [1]

### 3.5 ZÁKAL

Zákal je jedním ze dvou hlavních kritérií, která jsou rozhodující při stanovení délky filtračního cyklu. Je způsoben anorganickými nebo organickými koloidními částicemi. Stanovení zákalu se provádí tak, že vzorek vody je porovnáván s roztoky oxidu křemičitého o různých koncentracích. Jeho výše se vyjadřuje v jednotkách  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{SiO}_2$ . Tato jednotka je označována jako ZF, v anglicky psané literatuře jako NTU. [15]

Podle požadavků vyhlášky pro pitnou vodu pro Českou republiku nesmí zákal na odtoku filtrátu překročit 5 ZF. [15] Dle společnosti American Water Works Assotiation by neměl zákal překročit hodnotu 0,5 NTU, neboť již při hodnotě zákalu 1 NTU je reálné riziko, že do filtrátu proniknout vybrané mikroorganismy. [1]

### 3.6 FINANČNÍ ROZVAHA

Každý provoz by měl splňovat dva základní požadavky – spolehlivost a hospodárnost. Ty spolu úzce souvisí, nicméně může nastat situace, kdy je spolehlivý provoz zbytečně drahý. Může se jednat například o předimenzování, případně nevhodné využití možností, které provoz nabízí.

Během úpravy vody může docházet k plýtvání chemikáliemi, energií či vlastním upravovaným médiem – vodou. Tomu lze předcházet poloprovozními testy, dále průběžnými kontrolami během provozu. V poslední řadě je důležitý technický stav zařízení, jsou tedy nutné investice do oprav nebo rekonstrukcí.

Nesprávné hospodaření s vodou vede k nižší čisté jednotkové výrobě. Tento jev je zpravidla způsoben nesprávným praním. Mohou být použity příliš dlouhé prací cykly či zbytečně vysoké intenzity praní. V takovém případě se provozovatel připravuje o možnost prodeje vody spotřebiteli za zhruba  $75 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-3}$ . Tato částka pokrývá položky jako je cena úpravy vody, nájemné, mzdy zaměstnanců a přiměřený zisk. Dále provozovatel zbytečně platí státu poplatek za jímající vodu, v poslední řadě dochází k plýtvání energiemi, atp.. Proto je v zájmu provozovatele, aby se snažil provoz optimalizovat.

## 4 VYHODNOCENÍ PROVOZU ÚV KROMĚŘÍŽ

Úpravna vody v Kroměříži upravuje vodu z osmi jímacích podzemních zdrojů a zásobuje pitnou vodou asi 100 000 obyvatel, má výkon  $170 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Byla rekonstruována během let 2012 a 2013 za plného provozu. Důvodem rekonstrukce byl špatný stav celé technologie způsobený stářím úpravní. Ta byla uvedena do provozu roku 1978, od té doby zde byly provedeny jen občasné rekonstrukce menšího rozsahu. Přesto, že úpravna stále produkovala vodu s parametry, které požaduje příslušná legislativa, bylo přistoupeno k rekonstrukci, která měla přinést vyšší automatizaci a modernizaci provozu – účelem bylo, aby provoz byl hospodárnější a spolehlivější.

Zásadní změny přinesla nová technologie předúpravy vody. Před rekonstrukcí zde byl aplikován tradiční postup pro odstraňování přirozeného znečištění podzemní vody – železa a manganu. Jednalo se o mechanickou aeraci na provzdušňovacích zařízeních Bubla, následovalo dávkování vápenného mléka. Ty jsou nahrazeny novou chemickou metodou, kdy je do vody dávkován ozon smíchaný s kyslíkem. Ozon je vyráběn na místě v generátoru ozonu. Vnitřek generátoru je vidět na obr. 21. Do dvou válcových nádob je vháněn kyslík, pomocí elektrického výboje zde vzniká ozon.



*Obr. 21 Generátor ozonu*

Voda je s plynnou směsí smíchávána v systému Statiflo, poté pokračuje do reakční nádrže, kde je doba zdržení stanovena asi na 3 minuty. Pak se voda dostává na dvě pádlová míchadla oddělená stěnami s otvory, která zajišťují vznik vloček. Prvním separačním stupněm na úpravně je sedimentace, kde se usazují těžší větší vločky, finální dočištění probíhá na pískových filtrech.

Aby byla zajištěna správná oxidace, byly provedeny ozonizační pokusy. Na základě nich byla stanovena optimální dávka ozonu s ohledem na obsah železa a manganu ve vodě, která je ze zdrojů míchána v úpravně ve společné jímce – viz obr. 22. To bylo nutné z toho důvodu, že pokud by byla dávka ozonu nižší, než je třeba, nedocházelo by k dostatečné oxidaci. Na druhou stranu nesmí být dávka ozonu příliš vysoká, protože by docházelo k plýtvání ozonu, jehož výroba je energeticky náročná. Navíc špatný poměr mezi dávkou ozonu a obsahem železa a manganu ve vodě by mohl vést k provozním problémům na filtrech.



*Obr. 22 Míchání surové vody*



*Obr. 23 Opětovné umístění původního písku*

#### 4.1 REKONSTRUKCE FILTRŮ

Na úpravně se nacházejí 4 pískové rychlofiltry o filtrační ploše  $4 \times 38 \text{ m}^2$ . Jejich náplň je křemičitý písek o zrnitosti 1 až 1,6 mm o mocnosti 1,2 m. Hladina se obvykle nachází asi 1,1 m nad náplní. Tento stav byl totožný i před rekonstrukcí. Jelikož byl původní písek velmi dobře zapracován, bylo rozhodnuto, že bude použit i po rekonstrukci. Byl tedy pouze dočasně odtěžen, následně byl přesetý a opětovně umístěn do filtru. Na obr. 23 je vidět umísťování písku zpět do filtru. Jeho tmavé zbarvení způsobuje povrchový povlak z oxidu manganitého, který napomáhá správné filtraci a který by nový písek musel časem získat.

Hlavním bodem rekonstrukce filtrů byla výměna scezovacího systému. Doposud zde byly používány scezovací hlavice s mezidnem, ty byly nahrazeny scezovacím systémem Triton. Z obr. 24 je zřejmé, že systém Triton je nižší, navíc se jeví podle údajů z jiných provozů jako velmi spolehlivý. Pro osazení systému Triton bylo nutné, aby bylo vybouráno mezidno, tyto práce jsou zaznamenány na obr. 25, poté byl ve dně ve středu filtru vybudován žlab, na který byl následně osazen nový scezovací systém.



*Obr. 24 Porovnání scezovacích hlavice a systému Triton*



*Obr. 25 Odstraňování mezidna*

Dále byla zavedena filtrace s klesající zdánlivou filtrační rychlostí, to znamená, že hladina je udržována na stejné úrovni ve všech čtyřech filtrech. Za tímto účelem je nad každým filtrem umístěn hladinoměr.

Další změnou prošel nátok na filtry. V původní podobě přitékala na filtry upravovaná voda pouze místně – na okraji filtru – avšak tímto způsobem nebyla filtrační plocha využívána rovnoměrně. Proto nyní tvoří přítok upravované vody potrubí vedoucí v ose filtru po celé jeho délce. Na něm jsou umístěny štěrby, kterými voda vytéká. Přítok je umístěn pod hladinou. Současný vzhled filtrů je patrný z obr. 26.

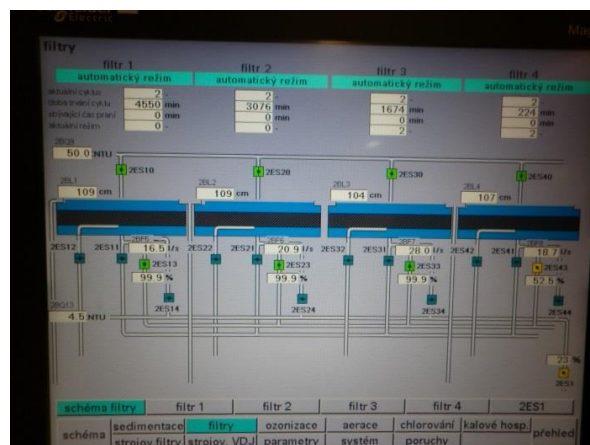


Obr. 26 Vzhled filtrů po rekonstrukci

## 4.2 VYHODNOCOVACÍ KRITÉRIA

### 4.2.1 Výkon filtrů

Každý z filtrů může produkovat 55 až 60 l·s<sup>-1</sup>. U každého filtru je na odtokovém potrubí filtrátu umístěno měřící zařízení, které poskytuje údaje o hydraulickém zatížení. Podle jeho aktuální hodnoty je rozhodováno o tom, zda filtr pracuje správně a kdy je zapotřebí praní. Dalšími uvažovanými kritérii jsou doba provozu a množství přefiltrované vody. Během provozu zrekonstruovaných filtrů bylo odzkoušeno, že délka filtračního cyklu může být až 10 dní. Z důvodu snadnějšího provedení však bylo přistoupeno k 7 denním cyklům, tato délka je uvedena jako optimální i v provozním řádu filtrů. Filtry jsou prány vždy od pondělí do



Obr. 27 Panel pro kontrolu filtrů

čtvrťka, každý den jeden filtr – tento systém je jednodušší pro obsluhu.

Aktuální stav filtrů lze sledovat pomocí kontrolního zařízení, které je zachyceno na obr. 27. Je umístěno v bezprostřední blízkosti filtrů.

Před rekonstrukcí byla stanovena optimální délka filtračního cyklu taky na 7 dní, výkon filtrů byl asi  $45 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . Zásadní změna ve výkonu filtrů nenastala, neboť filtrům byla ponechána stejná filtrační plocha a druh i mocnost náplně.

#### 4.2.2 Objemy filtrované vody

Z předchozích údajů lze pomocí následujících vztahů získat informaci o tom, kolik filtrované vody filtry vyprodukovaly:

$$V = \Delta t \cdot Q \text{ [m}^3\text{]},$$

kde  $V$  je objem přefiltrované vody za filtrační cyklus [ $\text{m}^3$ ],  
 $\Delta t$  je délka filtračního cyklu [s],  
 $Q$  je výkon filtru [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ];

$$V_M = V \cdot p \text{ [m}^3\text{]},$$

kde  $V_M$  je objem přefiltrované vody pro 1 filtr za měsíc [ $\text{m}^3$ ],  
 $p$  je počet filtračních cyklů za měsíc;

$$V_{MC} = V_M \cdot n \text{ [m}^3\text{]},$$

kde  $V_{MC}$  celkový objem přefiltrované vody za měsíc [ $\text{m}^3$ ],  
 $n$  je počet filtračních jednotek.

Tab. 3 Porovnání objemu filtrované vody

		<i>před rekonstrukcí</i>	<i>po rekonstrukci</i>
$\Delta t$	[den]	7	
$Q$	[ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	45	55
$p$		4	
$n$		4	
$V$	[ $\text{m}^3$ ]	27 216	33 264
$V_M$	[ $\text{m}^3$ ]	108 864	133 056
$V_{MC}$	[ $\text{m}^3$ ]	435 456	532 224



Z tab. 3 vyplývá, že jeden zrekonstruovaný filtr za svůj filtrační cyklus vyprodukuje přes 33 tis. m<sup>3</sup> vody, tj. denně přes 4 750 m<sup>3</sup> vody. To znamená, že celý filtrační systém přefiltruje za měsíc přes 532 tis. m<sup>3</sup> vody.

Oproti tomu před rekonstrukcí filtr vyprodukoval přes 27 tis. m<sup>3</sup> a celý systém za dobu jednoho měsíce přes 435 tis. m<sup>3</sup> vody. Došlo tedy k 22 % nárůstu.

V tab. 3 není uvažováno s prodlevami, které vzniknou během praní, skutečné hodnoty by tedy byly nižší. Vzhledem k délce praní jeho frekvenci je to však zanedbatelné.

### 4.2.3 Filtrační délka

V tab. 4 jsou uvedené filtrační délky, které byly na filtrech před rekonstrukcí a které jsou zde nyní. Vzhledem k tomu, že filtry mají totožné filtrační plochy, procentuální nárůst filtrační délky je shodný s nárůstem objemu filtrované vody - tedy 22 %.

Filtrační délka byla stanovena dle tohoto vztahu:

$$L_f = \frac{V}{S} [m^3 \cdot m^{-2}, \text{ tj. m}],$$

kde  $L_f$  je filtrační délka [m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>, tj. m],  
 $V$  je objem přefiltrované vody za filtrační cyklus [m<sup>3</sup>],  
 $S$  je plocha filtru [m<sup>2</sup>].

Tab. 4 Porovnání filtračních délek

		<i>před rekonstrukcí</i>	<i>po rekonstrukci</i>
$S$	[m <sup>2</sup> ]	38	38
$V$	[m <sup>3</sup> ]	27 216	33 264
$L_f$	[m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ]	<b>716</b>	<b>875</b>

### 4.2.4 Objem prací vody

Jedná se o filtry evropské, je tedy využívána kombinace pracích médií. V první fázi pere vzduch a vysoké intenzitě, v druhé fázi probíhá praní vzduchem o nižší intenzitě a zároveň praní vodou. V závěrečné dopírací fázi je provedeno praní pouze vodou o vysoké intenzitě. Tento způsob byl využit i před rekonstrukcí. Jelikož praní filtrů je jedním z nejvíc finančně náročných procesů, které na úpravně probíhají, bylo účelem rekonstrukce zvýšit jeho hospodárnost.

V tab. 5 jsou uvedeny jak prací intenzity, tak délky fází. Na základě těchto údajů je určeno množství vody, které bylo a je třeba na vyprání jednoho filtru. Při stanovení objemu prací vody bylo vycházeno z provozních řádů, kde jsou většinou uváděna vhodná rozmezí trvání fáze a jeho intenzity. Při výpočtu byly uvažovány střední hodnoty:

$$V_f = t_f \cdot Q_f \text{ [m}^3\text{]},$$

kde  $V_f$  je objem pracího média [m<sup>3</sup>],  
 $t_f$  je délka trvání fáze [s],  
 $Q_f$  je prací intenzita během fáze [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>].

Tab. 5 Porovnání spotřeby pracích médií podle provozních řádů

		fáze		před rekonstrukcí	po rekonstrukci
$t_f$	[min]	vzduch		5	
		vzduch + voda		7 až 10	
		voda		8 až 10	
$Q_f$	[l·s <sup>-1</sup> ]	vzduch		714	756
		vzduch + voda	vzduch	714	375
			voda	150	
		voda		300	
$V_f$	[m <sup>3</sup> ]	vzduch		214	227
		vzduch + voda	vzduch	364	191
			voda	77	77
		celkem	voda	<b>162</b>	<b>162</b>
			vzduch	<b>578</b>	<b>418</b>

Z tab. 5 vyplývá, že by během praní prováděného přesně podle instruktaže v provozních řádech docházelo po rekonstrukci k úspoře pouze během praní vzduchem, kdy by mělo být spotřebováno o 28 % méně vzduchu, nastává tedy úspora na energiích. Nicméně hlavní finančně náročnou položkou je potřeba prací vody, kde k úspoře nedochází.

V provozním řádu však byly pouze navrženy hodnoty, během provozu byly dále optimalizovány. V tab. 6 je uvedeno, kolik prací vody bylo a je skutečně spotřebováno. Tato hodnota byla získána součtem potřeb prací vody v jednotlivých fázích.

Tab. 6 Porovnání spotřeby pracích médií podle skutečného provozu

		fáze	před rekonstrukcí	po rekonstrukci
$t_f$	[min]	vzduch + voda	6	6
		voda	10	7
$Q_f$	[l·s <sup>-1</sup> ]	vzduch + voda	150	150
		voda	280	280
$V_p$	[m <sup>3</sup> ]	celkem	<b>222</b>	<b>172</b>

Z těchto hodnot je zřejmé, že došlo ke zkrácení doby praní, ale zůstaly stejné intenzity. Tuto změnu zřejmě umožnila kombinace výměny scezovacího systému, protože nyní probíhá praní souměrně po celé ploše, zatímco před rekonstrukcí probíhalo bodově, a změnou technologie předúpravy, díky které má odstraňované znečištění vody odlišné vlastnosti. Po rekonstrukci tedy nastává úspora potřebné prací vody asi o 23%.

Dle následujících vztahů je v tab. 7 vyjádřeno, kolik prací vody je ušetřeno, pakliže je uvažován měsíční provoz filtrů. Zrekonstruovaný provoz spotřebuje o 806 m<sup>3</sup> vody méně.

$$V_{pM} = V_p \cdot p \text{ [m}^3\text{]},$$

kde  $V_{pM}$  je objem prací vody pro 1 filtr za měsíc [m<sup>3</sup>],  
 $p$  je počet filtračních cyklů za měsíc,  
 $V_p$  je objem prací vody během jednoho praní [m<sup>3</sup>].

$$V_{pMC} = V_{pM} \cdot n \text{ [m}^3\text{]},$$

kde  $V_{pMC}$  je celkový objem prací vody za měsíc [m<sup>3</sup>],  
 $n$  je počet filtračních jednotek.

Tab. 7 Porovnání spotřeby prací vody po dobu jednoho měsíce

		<i>před rekonstrukcí</i>	<i>po rekonstrukci</i>
$V_p$	[m <sup>3</sup> ]	222	172
$p$		4	4
$n$		4	4
$V_{pM}$	[m <sup>3</sup> ]	888	686
$V_{pMC}$	[m <sup>3</sup> ]	<b>3 552</b>	<b>2 746</b>

## Přínos rekonstrukce

Jak již bylo zmíněno, před rekonstrukcí byla používána mechanická aerace a dávkování vápenného mléka. Tímto postupem vznikaly vločky, které sice lépe sedimentovaly, výsledného kalu však bylo velké množství a bylo obtížné ho zpracovat. Jeho odvoz a likvidaci zajišťovala specializovaná firma, což stálo nemalé prostředky. Kal vznikal před rekonstrukcí tak, že byly smíchány usazeniny ze sedimentační nádrže a prací voda do jednoho zásobníku a odtud byl kal odvážen.

Tím, že byl stávající systém předúpravy nahrazen mícháním s ozonem, vznikají v separačních stupních kaly odlišných vlastností. Sice jsou vločky lehčí a sedimentují hůře, nicméně stávající sedimentační nádrže jsou částečně předimenzované. V důsledku toho dochází k usazování v dostatečné míře. Jiné vlastnosti má po rekonstrukci i prací voda, což umožnilo, aby s ní bylo nakládáno lépe než před rekonstrukcí. Změna spočívá v tom, že zde byl zaveden recykl prací vody a to přináší značné úspory.



V současnosti jsou na úpravně vybudovány 3 odsazovací nádrže. Dvě z nich jsou určeny pro prací vodu. Zde voda z praní setrvává 2 až 3 hodiny. Po této době je kal usazený natolik, že až 80 % prací vody je možné odčerpat zpět do procesu úpravy vody, kde je postupně smíchávána s vodou, která bude upravována. Toto přináší největší úspory, kterých je během praní dosaženo. Tab. 8 udává, kolik prací vody odvedené do kanalizace či odvezené k likvidaci je během praní jednoho filtru vyprodukováno. Vyplývá z ní, že během jednoho praní lze ušetřit až 137 m<sup>3</sup> vody. Bylo využito následujících vztahů:

$$V_v = V_p \cdot m [m^3],$$

kde  $V_v$  je množství prací vody vrácené k úpravě [m<sup>3</sup>],  
 $m$  je množství prací vody vrácené k úpravě [%],  
 dále viz předchozí vztahy.

$$V_o = V_p - V_v [m^3],$$

kde  $V_o$  je množství prací vody odkanalizované [m<sup>3</sup>],

Tab. 8 Využití prací vody

$V_p$	[m <sup>3</sup> ]	172
$m$	[%]	80
$V_v$	[m <sup>3</sup> ]	<b>137</b>
$V_o$	[m <sup>3</sup> ]	<b>34</b>

Je-li tedy porovnáno, kolik vody bylo a je skutečně využito skutečně pouze na praní, z výsledků vyplývá, že došlo téměř k 85 % úspoře. Tato změna je zcela zásadní při vyhodnocení hospodárnosti provozu.

Třetí nádrž plní funkci odsazovací nádrže pro kaly ze sedimentace. Sem jsou přiváděny i odstředěné kaly z předchozích dvou nádrží. Zde jsou dále zahušťovány sedimentací. Díky svým vhodným vlastnostem je možné vzniklou kalovou vodu vypouštět přímo do kanalizace a následně na čistírnu odpadních vod. Množství kalu je v porovnání s původní technologií mnohem menší, tudíž se snižují náklady na jeho likvidaci.

V následující tab. 9 je pomocí výpočetních vztahů možno porovnat, jaký dopad má změna nakládání s prací vodou vzhledem k objemu filtrované vody:

$$V_{proc} = \frac{V_p}{V} \cdot 100 [\%],$$

kde  $V_{proc}$  je procentuální vyjádření objemu prací vody z celkového  
 přefiltrovaného objemu [%],  
 dále viz předchozí vztahy.

Tab. 9 Procentuální vyjádření spotřeby prací vody

			<i>před rekonstrukcí</i>	<i>po rekonstrukci</i>
$V$	$[m^3]$		27 216	33 264
$V_p$	$[m^3]$	<i>bez recyklu</i>	222	172
$V_{proc}$	$[\%]$		<b>0,82</b>	<b>0,52</b>
$V_p$	$[m^3]$	<i>s recyklem</i>	-	34
$V_{proc}$	$[\%]$		-	<b>0,10</b>

Z tab. 9 je zřejmé, že pokud je uvažováno s maximálním výkonem filtrů, tak i před rekonstrukcí provoz splňoval stanovené kritérium, které říká, že objem prací vody by neměl překračovat 4 % vody přefiltrované. Prací voda měla objem 0,82 % filtrované vody. Změnou technologie předúpravy a změnami, kterými filtry prošly, bylo dosaženo vyšších objemů filtrované vody, podíl prací vody byl navíc snížen na pouhých 0,10 %. Taková změna přináší výrazné finanční úspory.

#### 4.2.5 Čistá jednotková výroba

V následující tab. 10 jsou vypočítány dle vztahů níže čisté jednotkové výroby stavů před rekonstrukcí a po ní. Po rekonstrukci došlo k nárůstu čisté jednotkové výroby o 164,5  $m^3 \cdot m^{-2}$ , tj. 23 %:

$$L_p = \frac{V_o}{S} [m], \quad L = L_f - L_p [m],$$

kde  $L_p$  je prací délka [m],  
 $L$  je čistá jednotková výroba [m],  
dále viz předchozí vztahy.

Tab. 10 Porovnání čisté jednotkové výroby

		<i>před rekonstrukcí</i>	<i>po rekonstrukci</i>
$S$	$[m^2]$	38	
$V$	$[m^3]$	27 216	33 264
$L_f$	$[m]$	716	875
$V_o$	$[m^3]$	222	34
$L_p$	$[m]$	6	0,9
$L$	$[m]$	<b>710</b>	<b>874,5</b>

#### 4.2.6 Finanční rozvaha

Úspora prací vody je nejdůležitější změnou v celém procesu filtrace, hraje i hlavní roli při ekonomických výpočtech. Za každý metr krychlový vody, který je odčerpán z jímacího zařízení, musí totiž provozovatel státu zaplatit poplatek 2,50 Kč. V případě, že je prací voda vypuštěna do kanalizace, provozovatel přichází o zisk z prodeje, který je považován za přiměřený, pokud se pohybuje mezi 5 a 7 % hodnoty vodného stočného. Pro rok 2015 je cena vody v aglomeraci Kroměříž stanovena na 62,51 Kč·m<sup>-3</sup> bez DPH.

Dochází taktéž k úspoře elektrické energie, neboť k praní filtru je potřeba menší množství vody, nicméně voda z recyklu je přečerpávána zpět to systému, proto tato úspora není nikterak výrazná.

Již bylo zmíněno, že během praní dochází k úspoře potřeby pracího vzduchu. Tím jsou méně zatěžována vzduchová dmychadla, v důsledku toho spotřebují méně elektrické energie. Nicméně tato změna je natolik malá, že s ní nebude uvažováno.

Dále dochází k úspoře při likvidaci kalů, kterých je po rekonstrukci podstatně méně, finanční ohodnocení této položky však není předmětem této práce.

V tab. 11 je zřejmé, k jakým finančním úsporám po rekonstrukci dochází. Nejsou zde uvažovány vedlejší parametry, skutečná úspora je tedy vyšší. Po rekonstrukci provozovatel během praní jednoho filtru ušetří vodu, jejíž cena by byla pro odběratele přes 12 tis. Kč:

$$C_p = V_o \cdot (p_s + C_o) \text{ [Kč]},$$

kde  $C_p$  je cena praní s ohledem na cenu vody pro odběratele [Kč],  
 $p_s$  je poplatek státu [Kč·m<sup>-3</sup>],  
 $C_o$  je cena vody pro odběratele [Kč·m<sup>-3</sup>],  
 dále viz předchozí vztahy.

Tab. 11 Porovnání ceny praní

		<i>před rekonstrukcí</i>	<i>po rekonstrukci</i>
$V_o$	[m <sup>3</sup> ]	222	34
$p_s$	[Kč·m <sup>-3</sup> ]	2,5	
$C_o$	[Kč·m <sup>-3</sup> ]	62,51	
$C_p$	[Kč]	14 432	2 231

Tento výsledek je umocněn tím, že během filtračního cyklu zrekonstruované filtry vyprodukují větší objem filtrované vody. To popisuje tab. 12. a následující výpočetní vztahy. Za jeden filtrační cyklus jednoho filtru může nyní společnost prodat objem vody, jehož hodnota je o téměř 380 tis. Kč více:

$$C = V \cdot (C_o - p_s) - C_p \text{ [Kč]},$$

kde  $C$  je prodej z filtračního cyklu [Kč],  
 dále viz předchozí vztahy.

Tab. 12 Porovnání získaných financí z jednoho filtračního cyklu

		<i>před rekonstrukcí</i>	<i>po rekonstrukci</i>
$V$	$[m^3]$	27 216	33 264
$p_s$	$[Kč \cdot m^{-3}]$	2,50	
$C_o$	$[Kč \cdot m^{-3}]$	62,51	
$C_p$	$[Kč]$	14 432	2 231
$C$	$[Kč]$	<b>1 618 800</b>	<b>1 993 941</b>

#### 4.2.7 Výsledky rekonstrukce

Provoz filtrů nejvíce ovlivnila výměna scezovacího systému, který nyní umožňuje rovnoměrné praní po celé ploše filtru, a změna technologie předúpravy, která umožnila lepší nakládání s prací vodou.

Nyní je během filtračních cyklů produkováno o 22 % filtrátu více. Navíc se podařilo zredukovat potřebu prací vody o 85 %, tudíž nyní prací voda spotřebuje pouze 0,1 % celkového objemu filtrované vody. Cena praní jednoho filtru je po rekonstrukci 2 231 Kč, což je o více než 12 000 Kč méně, než byla původní částka. Ročně může přinést rekonstrukce úsporu na praní přes 2 500 000 Kč.



Obr. 28 Příklad ocenění

Díky těmto výsledkům získala zrekonstruovaná ÚV Kroměříž ocenění Vodohospodářská stavba roku 2014 (obr. 28) a další.

Pokud by provozovatel zamýšlel úsporu ještě zvýšit, nabízí se mu několik možností. První z nich je, že by mohla být prodloužena doba filtračního cyklu prodloužena na již zmiňovaných 10 dní, znamenalo by to však potřebu praní i během víkendů, což je v současné době považováno za nevhodné.

Druhou možností je instalace měřicího zařízení na odtoku prací vody. To by mohlo podávat informace o zákalu, na jehož základě by mohla být nastavena intenzita dopírání. Jelikož se složení prací vody během roku mění, měnila by se i spotřeba prací vody. Tím by byla navýšena hospodárnost provozu, navíc by bylo zajištěno, že filtrační náplň je pokaždé vyprána dostatečně.

## 5 VYHODNOCENÍ PROVOZU ÚV HROBICE

Úpravná vody v Hrobicích leží v Pardubickém kraji a je majetkem společnosti Vodovody a kanalizace Pardubice a. s. . Je jedním ze dvou hlavních zdrojů pitné vody pro Pardubice a jejich přilehlé obce, část Hradce Králové a Chrudimi. Její provoz byl zahájen v 60. letech, kdy byla koncipována jako úpravná jednostupňová, po rekonstrukci v 90. letech byla upravena na třístupňovou.

Úpravně náleží plocha několika hektarů půdy, kde je umístěno okolo čtyřiceti vrtů, ze kterých je voda dopravována do tří studní – Hrobice I, Hrobice II a Čeperka – a odsud je čerpána k úpravě. Jelikož se jedná o podzemní vodu s vysokými koncentracemi železa a manganu, je voda míchána s povrchovou vodou z rybníku Oplatil, který se nachází ve vzdálenosti několika kilometrů a který zde vznikl zatopením bývalé pískovny. Povrchová a podzemní voda se smíchává zhruba v poměru jedna ku jedné, původní koncentrace železa ve vodě z vrtů, která často dosahuje téměř  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , je tedy na úpravně asi poloviční a voda je lépe upravitelná. Následující tabulka poskytuje údaj o tom, jaké objemy byly z jednotlivých zdrojů během ledna 2015 načerpány k úpravě, zároveň je zde uvedeno, jaké koncentrace železa a manganu se v některých zdrojích vyskytovaly:

Tab. 13 Využití zdrojů a koncentrace znečištění během ledna 2015

zdroj	objem [ $\text{m}^3$ ]	$c(\text{Fe})$ [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	$c(\text{Mn})$ [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
Hrobice I	45 061	9,00	1,78
Hrobice II	32 876		
Čeperka	59 600		
Oplatil	180 188	0,08	0,05
<b>celkem</b>	<b>317 725</b>		

Provoz má výkon  $200 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , vzhledem ke klesajícímu trendu potřeby pitné vody produkuje v posledních letech během zimního období asi  $110 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , během léta pak  $150 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Převážná část upravené vody je po dezinfekci chlórem z místní chlorovny (obr. 29) a přechodném uskladnění v akumulární nádrži úpravní přečerpávána na vodojem na Kunětické hoře.



Obr. 29 Chlorovna

## 5.1 PŘEDÚPRAVA VODY

Vzhledem k tomu, že voda ze zdroje Oplatil je zejména v letních měsících biologicky oživena, bylo přistoupeno k částečně oddělené předúpravě vody. Výskyt biologického oživení vody umocňuje fakt, že rybník je částečně využíván jako chovný a částečně jako vodní zdroj. Tyto části jsou od sebe oddělené hrázi, nicméně v letních měsících je z důvodu nedostatku vody nutno přepouštět do zdrojové části vodu z části chovné.

Povrchová voda je proto v prvním kroku smíchávána s ozonem, jehož úkolem je odstranit z vody živé organismy. To se děje pomocí generátoru ozonu, který je na obr. 30, a horizontálního mísiče. Následuje dávkování manganistanu draselného.

Naopak v zimních měsících často dosahuje voda takových parametrů, že by dávkování ozonu mohlo být dočasně odstaveno. Pro případ poruchy generátoru ozonu je v systému zabudován přívod chlóru, který může ozon při předúpravě dočasně zastupovat.



*Obr. 30 Generátor ozonu*

Oproti tomu voda podzemní je přiváděna přímo do mísiče, kde se dostává do kontaktu s již hygienizovanou povrchovou vodou s nadávkovaným manganistanem draselným. Směs dále pokračuje do dalšího stupně předúpravy, kde je nadávkováno na místě vyráběné vápenné mléko, jehož výroba je zřejmá na obr. 31 a 32, a směs je finálně promíchána ve vertikálním mísiči. Další předúprava není nutná, po tomto postupu vznikne dostatečně vyvločkováná suspenze, která je již vhodná pro nátok na filtry.





*Obr. 31 Výroba vápenného mléka 1*



*Obr. 32 Výroba vápenného mléka 2*

## 5.2 FILTRACE

Předupravená voda je čerpána do rozdělovače kruhového půdorysu, odkud voda natéká na jednotlivé filtrační jednotky. Rozdělovač je nejvýše umístěný objekt na úpravně, odsud voda protéká filtrací prvního a druhého stupně gravitačně.

Hladina vody je nad filtračním ložem I. a II. stupně udržována konstantní pomocí hladinoměřů umístěných nad filtry a pomocí uzávěrů, které se na odtoku filtrátu ovládají dle potřeby.

### 5.2.1 I. stupeň

První separační stupeň tvoří otevřené filtry evropského typu. Jedná se o 6 filtračních jednotek s náplní z křemičitého písku o mocnosti 1,5 m a zrnitosti 1,6-1,8 mm a filtrační ploše 30,2 m<sup>2</sup>. Pod ložem je umístěno mezidno se scezovacími hlavicemi, které mají za úkol odvádět přefiltrovanou vodu a přivádět prací média. Původně byla předúprava a filtry upraveny tak, aby bylo prakticky veškeré znečištění zachyceno již na prvním separačním stupni a dále by na úpravně docházelo jen k finálnímu dočištění vody. To však způsobovalo provozní problémy a vrchní vrstva filtrů prvního separačního stupně byla neschopná provozu již za několik hodin. Proto je nyní snaha o to, aby na prvním stupni bylo odstraněno přebytké železo a ostatní znečištění bylo zachyceno na dalších stupních.

Vzhledem k vysokému vstupnímu znečištění bylo přistoupeno k tomu, že každý den je vypráno všech 6 filtračních jednotek, filtrační cyklus jednotky je tedy 1 den. Filtry jsou prány postupně v pevně daném pořadí. Praní jednoho filtru trvá 24 minut a délky jednotlivých fází praní a jejich intenzity jsou zřejmé z následující tab. 14:



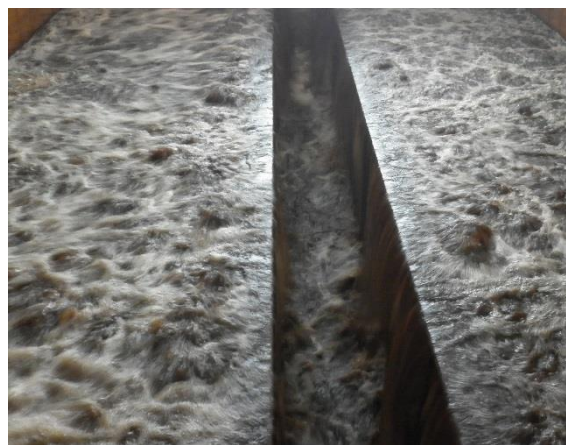
*Tab. 14 Parametry praní I. stupně filtrace*

		fáze		
trvání	[min]	vzduch		13
		vzduch + voda		5
		voda		6
intenzita	[l·s <sup>-1</sup> ]	vzduch + voda	voda	90
		voda		155

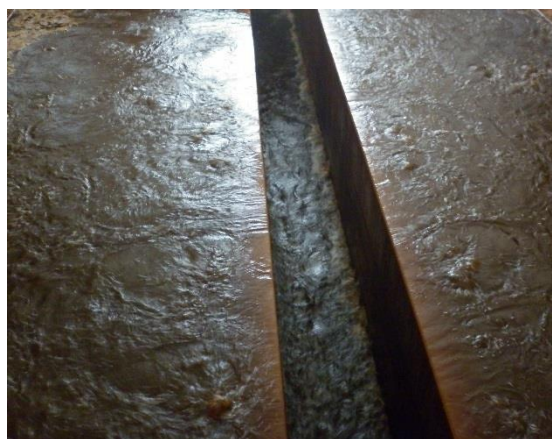
Průběh praní je zaznamenán na obr. 33 až 35. Ve fázi praní vzduchem unikají z filtru bubliny a dochází k narušení vrstvy znečištění. Ve druhé fázi dochází k vyplavování nečistot prací vodou stejně tak jako během třetí fáze. Blížícímu se konci dopírání by měl předcházet stav, kdy je hladina filtru již klidná a voda pouze odtéká do odpadu, následně se začnou tvořit „kalové mraky“. Vzhledem ke stáří provozu však tento jev nastává po ploše filtrů nerovnoměrně.



*Obr. 33 Praní vzduchem*



*Obr. 34 Praní vzduchem a vodou*



*Obr. 35 Praní vodou*

## 5.2.2 II. stupeň

Další separační stupeň tvoří taktéž otevřené evropské filtry s totožnou mocností náplně a plochu, ale nižší zrnitostí, která tu je do 1,6 mm. Na dně je osazený stejný scezovací systém jako na prvním stupni. Hlavní rozdíl je v tom, že jednotek je pouze 5 a jelikož je velká část znečištění zachycena již na prvním stupni, je prán pouze jeden filtr denně a délka filtračního cyklu je tak prodloužena na 5 dní. Doby trvání fází a prací intenzity vody jsou uvedeny v tab. 15. Po ukončení praní následuje zafiltrování, které trvá zhruba 10 minut.

Tab. 15 Parametry praní II. stupně filtrace

		fáze	
trvání	[min]	vzduch	5
		vzduch + voda	7
		voda	7
intenzita	[l·s <sup>-1</sup> ]	vzduch + voda	40
		voda	95

## 5.2.3 III. stupeň

Poslední separační stupeň tvoří na úpravně 3 tlakové filtry, které jsou uvedeny na obr. 36 a 37. Byly sem zařazeny, aby odstranily zbytkové koncentrace ozonu a biologického znečištění z upravované vody. Uvnitř filtrů je aktivní uhlí Chemviron Carbon vyráběné z antracitu, díky čemuž je tvrdé a na jeho povrchu dochází pouze k minimálnímu odírání. Jedná se o válcové nádoby, jejichž náplň má mocnost 0,8 m a filtrační plochu zhruba 12 m<sup>2</sup>.



Obr. 36 III. separační stupeň 1



Obr. 37 III. separační stupeň 2

Tento stupeň byl na úpravně zprovozněn v 90. letech, kdy s ním ještě v České republice nebyly příliš hluboké zkušenosti. I z tohoto důvodu jsou filtry uloženy horizontálně, avšak vhodnější by bylo vertikální uložení, které by mělo za následek vyšší mocnost náplně. Dále byla během první etapy používání překročena doba, po které lze aktivní uhlí regenerovat a tím ušetřit značné finance, tudíž musela být zakoupena nová náplň. Nicméně v současné

době je již kontrolováno, v jakém stavu aktivní uhlí je, a odváží se k regeneraci zhruba každých 7 let.

I na tomto stupni je prán jeden filtr denně – jedna jednotka má délku filtračního cyklu 3 dny. Během praní je využíváno prací intenzity vody  $50 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  po dobu 20 minut. Po praní následuje 10 minutová fáze zafiltrování.

## 5.3 VYHODNOCOvacÍ KRITÉRIA

V následující kapitole bude vyhodnocena hospodárnost provozu. Pro výpočty budou využity totožné vztahy jako pro ÚV Kroměříž a provozní údaje z 31. 1. 2015 v kombinaci s celým měsícem leden 2015.

Vyhodnocení provozu je uvedeno i pro třetí stupeň filtrace, nicméně je třeba mít na mysli, že vypočtené hodnoty jsou pouze orientační, jelikož se vzhledem k tomu, jak jsou filtry uloženy, mění jejich filtrační plocha v závislosti na hloubce náplně.

### 5.3.1 Objem prací vody

Tab. 16 Objemy prací vody během jednoho praní

objem prací vody	[m <sup>3</sup> ]	I. stupeň	vzduch + voda	27
			voda	56
			<b>celkem I. stupeň</b>	<b>83</b>
		II. stupeň	vzduch + voda	17
			voda	40
			<b>celkem II. stupeň</b>	<b>57</b>
		III. stupeň	voda	<b>66</b>

V tab. 16 a 17 se jedná o hodnotu vypočítanou z údajů z velína úpravny, kde je možné v kontrolních panelech procházet nastavení provozu, ale provoz nepracuje přesně podle těchto údajů.

Je zřejmé, že nejvíce prací vody je potřeba pro vyprání jedné filtrační jednotky z prvního separačního stupně. To je způsobeno tím, že tyto filtry jsou vysoce zatížené. S ohledem na to, že se četnost praní v jednotlivých stupních liší, je v tab. 17 uvedeno, kolik prací vody je spotřebováno za jeden den:

Tab. 17 Objemy prací vody za jeden den

		I. stupeň	II. stupeň	III. stupeň	celkem
počet pranych jednotek za den		6	1	1	8
objem prací vody pro jedno praní	[m <sup>3</sup> ]	83	57	66	
<b>objem prací vody na den</b>		<b>497</b>	<b>57</b>	<b>66</b>	<b>620</b>

Z tab. 17 plyne, že první stupeň tvoří zásadní položku ve spotřebě prací vody, z celkového množství prací vody je spotřebováno 80 % právě na praní filtrů prvního separačního stupně. Celkově by mělo být spotřebováno 620 m<sup>3</sup> prací vody denně.

Podle údajů z 31. 1. 2015, kdy bylo prováděno standartní praní, bylo však spotřebováno pouze 465 m<sup>3</sup>, z toho 65 m<sup>3</sup> na třetí stupeň, zbývajících 400 m<sup>3</sup> dohromady na první a druhý stupeň. Obsluha úpravní vychází pro měsíční bilance provozu z těchto údajů, proto budou použity i pro následující výpočty.

Veškerá prací voda je z úpravní odváděna do nádrže, kde dochází k usazení nečistot. Po vhodné době zdržení je přečerpána do druhé části nádrže, odkud je postupně odebírána a společně s povrchovou vodou znovu upravována. Z provozních údajů vyplývá, že z celkových 465 m<sup>3</sup> prací vody bylo znovu využito 438 m<sup>3</sup> vody. Nicméně provozovatel si je vědom nepřesností, které vznikají v celém provozu. Jedná se zejména o netěsnosti, které způsobují zpětný průtok vody a navyšují tak údaj o využití prací vody. Není tedy možné přesně zjistit, kolik prací vody je vráceno k úpravě. Je však odhadováno, že to není méně než 200 m<sup>3</sup> denně. Proto bude tato hodnota použita jako směrodatná. Dá se však předpokládat, že ve skutečnosti je vyšší.

Objem prací vody, který je společně s nečistotami odveden do kalové laguny, je tedy odhadován asi na 265 m<sup>3</sup>. Objem obou vzniklých složek prací vody bude ve výpočtech pro jednotlivé stupně filtrace rozdělen v poměru, který odpovídá přibližně poměru objemů prací vody v předchozí tabulce, tedy 8:1:1.

### 5.3.2 Objem filtrované vody a výkon filtrů

Z provozních údajů lze vyčíst, že na úpravnu bylo přivedeno za jeden den 9 861 m<sup>3</sup> surové vody a úpravna vyprodukovala 8 944 m<sup>3</sup> upravené vody, která byla odvedena k odběratelům. Rozdíl způsobuje tzv. technologická voda, která je využívána pro provoz. Je třeba například pro výrobu vápenného mléka, roztoku manganistanu draselného a pro praní. Úpravna tedy ve skutečnosti upravila 9 861 m<sup>3</sup> vody, nicméně do výpočtů, které se týkají finanční rozvahy, lze zahrnout pouze 8 944 m<sup>3</sup>, které bylo možné prodat odběratelům. V následující tab. 18 je vypočteno, jaké objemy filtrované vody vyprodukují jednotlivé filtry a v návaznosti na to je vypočítán výkon filtrů. U všech stupňů byla uvažována jedna půlhodinová odstávka z důvodu praní a zafiltrování. Vzhledem k počtu jednotek musí mít třetí stupeň filtrace dvojnásobný výkon než první stupeň:

Tab. 18 Objemy filtrované vody a výkon filtrů

		I. stupeň	II. stupeň	III. stupeň
objem filtrované vody za den	[m <sup>3</sup> ]	9 861		
filtrační plocha	[m <sup>2</sup> ]	30,2	30,2	12,0
počet filtračních jednotek		6	5	3
trvání praní a zafiltrování	[hod]	0,5	0,5	0,5
doba filtrace za den	[hod]	23,5	23,5	23,5
objem filtrované vody za den na jednotku	[m <sup>3</sup> ]	1 643,5	1 972,2	3 287,0
výkon filtrační jednotky	[l·s <sup>-1</sup> ]	19,4	23,3	38,9

### 5.3.3 Filtrační délka

Pro stanovení filtrační délky bylo využito objemů filtrované vody, ploch filtračních jednotek a délek filtračních cyklů jednotlivých stupňů. Nejvyšší hodnoty dosahují opět filtry třetího separačního stupně. Výpočtem bylo docíleno těchto hodnot:

Tab. 19 Filtrační délka filtrů

		I. stupeň	II. stupeň	III. stupeň
<i>filtrační plocha</i>	<i>[m<sup>2</sup>]</i>	30,2	30,2	12,0
<i>objem filtrované vody za filtrační cyklus na jednotku</i>	<i>[m<sup>3</sup>]</i>	1 643,5	9 861,0	9 861,0
<b><i>filtrační délka</i></b>	<b><i>[m]</i></b>	<b>54,4</b>	<b>326,5</b>	<b>821,8</b>

### 5.3.4 Čistá jednotková výroba

Tab. 20 Čistá jednotková výroba

		celkem	I. st.	II. st.	III. st.
<i>filtrační plocha</i>	<i>[m<sup>2</sup>]</i>		30,2	30,2	12,0
<i>filtrační délka</i>	<i>[m]</i>		54,4	326,5	821,8
<i>objem prací vody</i>	<i>[m<sup>3</sup>]</i>	465,0	372,0	46,5	46,5
<i>objem prací vody nevyužité</i>		265,0	212,0	26,5	26,5
<i>prací délka bez zpětného využití prací vody</i>	<i>[m]</i>		12,3	1,5	3,9
<b><i>prací délka se zpětným využitím prací vody</i></b>	<b><i>[m]</i></b>		<b>7,0</b>	<b>0,9</b>	<b>2,2</b>
<b><i>čistá jednotková výroba</i></b>	<b><i>[m]</i></b>		<b>47,4</b>	<b>325,6</b>	<b>819,5</b>

Z tab. 20 vyplývá, že díky zpětnému využití prací vody se její spotřeba snižuje alespoň o 42 %. Tím je i navýšena čistá jednotková výroba filtrů, která je nejvyšší u třetího stupně, je téměř 18 krát vyšší než čistá jednotková výroba prvního stupně.

Za pozornost stojí prací délka druhého separačního stupně - ta je pouze necelý 1 m. Navíc provozovatel udává, že filtry by bylo zřejmě možné prát i s poloviční frekvencí.

### 5.3.5 Finanční rozvaha

Tab. 21 Procentuální vyjádření objemu prací vody

		I.stupeň	II.stupeň	III.stupeň	celkem
<i>objem filtrované vody za 15 dní</i>	<i>[m<sup>3</sup>]</i>	147 915			
<i>objem prací vody za 15 dní</i>		7 452	850,5	990	9 292,5
<b><i>objem prací vody za 15 dní bez zpětného využití</i></b>	<b><i>[%]</i></b>				<b>6,3</b>
<b><i>objem prací vody za 15 dní se zpětným využitím</i></b>					<b>3,8</b>

Pro zhodnocení provozu filtrů je velmi důležitým ukazatelem procentuální vyjádření potřeby prací vody vzhledem k celkovému objemu upravené vody dodané odběratelům. To je provedeno v tab. 21. Pro správné procentuální vyjádření byla zvolena doba 15 dní, po kterých jsou filtrační cykly jednotlivých stupňů uzavřené a začínají se opakovat. Pokud by nebyla prací voda zpětně využita, hodnota objemu prací vody by dosahovala 6,3 %, čímž by nesplnila požadavek, podle kterého je maximální hodnota 4 %. Tím, že je minimálně 40 % vody vráceno k úpravě, je skutečně využito pouze na praní 3,8 % vody, čímž je požadavek splněn.

Při výpočtu ceny praní a hospodárnosti provozu je třeba uvažovat s tím, že za každý 1 m<sup>3</sup> povrchové vody platí provozovatel úpravný státu 4,19 Kč a za podzemní vodu 2 Kč·m<sup>-3</sup> (údaje pro rok 2015). Cena vody společnosti Vodovody a kanalizace Pardubice a. s. pro rok 2015 je 69,57 Kč·m<sup>-3</sup> bez DPH. Cena praní je uvedena v tab. 22. Je uvažováno s tím, že voda povrchová a podzemní je využita v poměru 1:1. Cena praní všech 3 separačních stupňů po dobu jednoho dne je téměř 20 tis. Kč:

Tab. 22 Cena praní

<i>objem prací vody nevyužité</i>	<i>[m<sup>3</sup>]</i>	265
<i>poplatek za povrchovou vodu</i>	<i>[Kč·m<sup>-3</sup>]</i>	4,19
<i>poplatek za podzemní vodu</i>		2,00
<i>cena vody pro odběratele</i>		69,57
<b><i>cena praní za jeden den</i></b>	<b><i>[Kč]</i></b>	<b>19 256</b>

V následující tabulce (tab. 23) je uvedeno, jaká hodnota vodného a stočného je získána prodejem vody vyrobené za jeden den. Je zde uveden údaj, který je získán po odečtení poplatků odváděných státu, navíc zde nelze uvažovat objem technologické vody. Úpravna vyprodukuje za den vodu, jejíž hodnota na vodném a stočném je téměř 600 tis. Kč.

Tab. 23 Vodné a stočné za jeden den

<i>objem upravené vody</i>	<i>[m<sup>3</sup>]</i>	8 944
<i>poplatek za povrchovou vodu</i>	<i>[Kč·m<sup>-3</sup>]</i>	4,19
<i>poplatek za podzemní vodu</i>		2,00
<i>cena vody pro odběratele</i>		69,57
<b><i>vodné a stočné za jeden den</i></b>	<b><i>[Kč]</i></b>	<b>594 552</b>

### 5.3.6 Zhodnocení

Provoz filtrů splňuje požadavky, které jsou obecně platné. S ohledem na stáří úpravný pracuje systém velmi dobře.

Veškeré výpočty byly provedeny pro nejnepříznivější stav, kdy bylo upravováno roční minimum vody. Pokud by byl uveden výpočet pro letní měsíce, byl by provoz zhruba o 25 % hospodárnější, neboť v tomto období upravuje větší množství vody při stejném systému praní.

Pokud by se provozovatel rozhodl zvýšit efektivitu provozu, bylo by vhodné uložit tlakové filtry vertikálně. Další cestou by byla změna systému praní tak, že by byly prány filtry striktně podle jejich zanesení a nikoliv podle pevně daného pořadí.

## 6 ZÁVĚR

Filtrace je nezbytnou součástí velkého množství úpraven vod. Její citlivý návrh s ohledem na kvalitu upravované vody, který by měl být prováděn individuálně pro každý provoz, je klíčem ke správné funkci filtrů.

Pozornost by měla být věnována především správnému návrhu filtračního média. Na trhu je dostupné velké množství filtračních materiálů, které se liší jak vlastnostmi, tak i cenou. Dalším důležitým zařízením na filtrech je scezovací systém, jehož správnou funkcí lze dosáhnout maximální efektivity produkce upravené vody i efektivity praní. V minulosti byly navrhovány scezovací systémy s mezidnem, které doposud v mnoha provozech fungují. Nyní je však postupně přistupováno k systémům bez mezidna – jako například v Kroměříži, kde byly v rámci rekonstrukce umístěny do filtrů scezovací systémy Triton. Aby mohl být proces filtrace kontrolován a následně vyhodnocen, je vhodné mít na filtrech a jejich příslušenství osazeno dostatečné množství měřících zařízení, jako je hladinoměr nebo průtokoměr.

Pokud se provozovatel zaměří vyhodnocení provozu filtrů, měl by klást pozornost na poměr mezi objemem upravené vody a objemem vody potřebné pro praní filtru – ten by neměl překročit 4 % objemu vody upravené. V ideálním případě by tyto hodnoty měly být vztaženy k ploše filtrů, čímž je získána filtrační a prací délka. Jejich rozdílem lze získat čistou jednotkovou výrobu. Pomocí ní lze proces filtrace vyhodnotit, případně s ohledem na vlastnosti upravované vody porovnat s jiným provozem.

Úpravna vody v Kroměříži již před rekonstrukcí disponovala dobře pracujícími filtry. Změnou technologie předúpravy a kalového hospodářství bylo sníženo zatížení filtrů a tím jsou získány ještě lepší provozní parametry. V současné době vyprodukuje filtrační jednotka přes 4 700 m<sup>3</sup> upravené vody denně. Za jeden filtrační cyklus dlouhý 7 dní vyrobí filtrační jednotka přes 33 tis. m<sup>3</sup> upravené vody. Po zavedení recyklu prací vody je po jednom praní odkanalizováno 34 m<sup>3</sup> vody, což je 0,1 % upravené vody. Těchto výsledků však bylo docíleno rekonstrukcí, která stála nemalé finanční prostředky.

Úpravna vody v Hrobicích vzhledem ke svému stáří nevykazuje tak výborné výsledky. Je však třeba brát v potaz i skutečnost, že na úpravnu natéká voda o velmi vysokých koncentracích železa i manganu. Systém vyprodukuje přes 9 800 m<sup>3</sup> upravené vody denně a objem prací vody je 3,8 % vody upravené.

## 7 LITERATURA

- [1] American Water Works Association: Filtration Basic Course. Module 1: Filtration. AWWA e-Learning, 2009
- [2] APS TechNotes: *Birm Water Filtration Media for Removing Iron and Manganese. APS Water: Pure Water-Lab Filtration-Lab Equipment* [online], 5. 2. 2015[cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.apswater.com/article.asp?id=78>
- [3] BEVERLY, Richard P. *Filter troubleshooting and design handbook* [online]. English language, 1st ed. Denver, CO: American Water Works Association, c2005, xiii, 337 p. [cit. 2015-05-03]. ISBN 15-832-1349-X
- [4] BEYBLOVÁ, Soňa, Ladislav RAINIŠ a Jana MICHALOVÁ. Provozní zkušenosti s filtrační náplní Filtralite. In: KALOUSKOVÁ Nataša a Petr Dolejš (ed.). *Pitná voda 2014: 12. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží 26. 5. – 29. 5. 2014 v Táboře*. České Budějovice: W&ET Team, 2014, s. 129-132.
- [5] DOLEJŠ, Petr. Provozní optimalizace a vývojové trendy vodárenské filtrace. *Vodní hospodářství*. Bohumilice: Vodní hospodářství, spol. s r.o., 2009, 51(2), 37 - 39.
- [6] DOLEJŠ, Petr, Pavel TOBIÁŠ a Klára ŠTRAUSOVÁ. Porovnání vybraných filtračních materiálů při použití v jednostupňové a dvoustupňové separaci (flotace-filtrace). SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Praha: 2012, 8 (6), 15-17.
- [7] DRBOHLAV, Josef a Petr Dolejš. Zkušenosti s používáním drenážních systému Leopold (ITT) při rekonstrukcích úpraven vody v České republice. SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Praha: 2009, 5 (10), 5-9.
- [8] DRBOHLAV, Josef, Pavel STŘEDA, Arnošt VOŽEH, Jindřich ŠESTÁK a Petr DOLEJŠ. Zkušenosti z rekonstrukcí úpraven vody v České republice. *Vodohospodářsky spravodajca*. Sekretariát ZZVH, 2012, 7 (9-10), 11-19.
- [9] HÁJEK, Tomáš. Informace pro odběratele vody k aktuálnímu stavu realizace vody. In: *Svazek vodovodů a kanalizací Ivančice* [online]. 8. 7. 2014 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: [http://www.svazekivancice.cz/VismoOnline\\_ActionScripts/File.ashx?id\\_org=200195&id\\_dokumenty=1114](http://www.svazekivancice.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=200195&id_dokumenty=1114)
- [10] HRADIL, Zdeněk, Pavel ADLER a Štěpán SATIN. Zkušenosti s ročním provozem šterbinového drenážního systému Triton na ÚV Štítná nad Vláří. SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Praha: 2012, 8 (3), 20-23.
- [11] JAVŮRKOVÁ, Lucie, Jana ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ a Jaroslav ŘÍHA. *Aplikace geotextilie na pomalém pískovém filtru*. Vypracováno v rámci grantového projektu MŠM 6046137308.
- [12] *Kontinuální pískové filtry. INTREL: HYDRO-EKO-SYSTEM...každá kapka pod kontrolou*. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: [http://www.intrel.cz/kontinualni\\_piskove\\_filtry.php](http://www.intrel.cz/kontinualni_piskove_filtry.php)



- [13] MOLNÁR, Tomáš a Richard HARNETT. Analýza účinnosti viacvrstvého filtra-poloprevádzkový model. *SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací*. Praha: 2014, 10 (10), 11-14.
- [14] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Příručka provozovatele úpravny pitné vody*. Vyd. 1. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, c2005, viii, 206 s. ISBN 80-239-4565-3.
- [15] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: A. úprava vody*. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006, 223s.
- [16] *Vodárna Káraný a.s.*[online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.vodarnakarany.cz/>

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Návrh pracích intenzit a doby praní pro americké filtry [3] .....	32
Tab. 2 Návrh pracích intenzit a doby praní pro evropský filtr [3] .....	32
Tab. 3 Porovnání objemu filtrované vody .....	37
Tab. 4 Porovnání filtračních délek .....	38
Tab. 5 Porovnání spotřeby pracích médií podle provozních řádů .....	39
Tab. 6 Porovnání spotřeby pracích médií podle skutečného provozu .....	39
Tab. 7 Porovnání spotřeby prací vody po dobu jednoho měsíce .....	40
Tab. 8 Využití prací vody .....	41
Tab. 9 Procentuální vyjádření spotřeby prací vody .....	42
Tab. 10 Porovnání čisté jednotkové výroby .....	42
Tab. 11 Porovnání ceny praní .....	43
Tab. 12 Porovnání získaných financí z jednoho filtračního cyklu .....	44
Tab. 13 Využití zdrojů a koncentrace znečištění během ledna 2015 .....	46
Tab. 14 Parametry praní I. stupně filtrace .....	49
Tab. 15 Parametry praní II. stupně filtrace .....	50
Tab. 16 Objemy prací vody během jednoho praní .....	51
Tab. 17 Objemy prací vody za jeden den .....	51
Tab. 18 Objemy filtrované vody a výkon filtrů .....	52
Tab. 19 Filtrační délka filtrů .....	53
Tab. 20 Čistá jednotková výroba .....	53
Tab. 21 Procentuální vyjádření objemu prací vody .....	53
Tab. 22 Cena praní .....	54
Tab. 23 Vodné a stočné za jeden den .....	54

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma umělé infiltrace v Káraném [16] .....	11
Obr. 2 Mechanické čištění .....	12
Obr. 3 Usazování .....	12
Obr. 4 Adsorpce .....	12
Obr. 5 Kontinuální filtr [12] .....	13
Obr. 6 Zvyšování tlakové ztráty na pomalém filtru v čase [15] .....	15
Obr. 7 Geotextilie položená na filtru [11] .....	16
Obr. 8 Makrosnímek použité geotextilie [11] .....	16
Obr. 9 Schéma rychlofiltru [15] .....	18
Obr. 10 Porovnání délky filtračních cyklů písku a Filtralite Mono-Multi [4] .....	20
Obr. 11 Uložení scezovacích hlavice [1] .....	21
Obr. 12 Scezovací hlavice uložené v mezidně s prohlubněmi [1] .....	21
Obr. 13 Scezovací systém bez mezidna u malého filtru [15] .....	22
Obr. 14 Scezovací systém s centrálním sběrným potrubím [1] .....	22
Obr. 15 Detail systému Leopold [1] .....	23
Obr. 16 Detail systému Triton [10] .....	24
Obr. 17 Průběh tlakových ztrát v rychlofiltru [14] .....	24
Obr. 18 Porovnání časového průběhu tlakové ztráty a zákalu na výtoku [14] .....	25
Obr. 19 Průběh praní evropského filtru [15] .....	26
Obr. 20 Závislost CHSK na filtrační délce [6] .....	31
Obr. 21 Generátor ozonu .....	34
Obr. 22 Míchání surové vody .....	35
Obr. 23 Opětovné umístění původního písku .....	35
Obr. 24 Porovnání scezovacích hlavice a systému Triton .....	35
Obr. 25 Odstraňování mezidna .....	35
Obr. 26 Vzhled filtrů po rekonstrukci .....	36
Obr. 27 Panel pro kontrolu filtrů .....	36
Obr. 28 Příklad ocenění .....	44
Obr. 29 Chlorovna .....	46
Obr. 30 Generátor ozonu .....	47
Obr. 31 Výroba vápenného mléka 1 .....	48
Obr. 32 Výroba vápenného mléka 2 .....	48

---

Obr. 33 Praní vzduchem .....	49
Obr. 34 Praní vzduchem a vodou .....	49
Obr. 35 Praní vodou .....	49
Obr. 36 III. separační stupeň 1 .....	50
Obr. 37 III. separační stupeň 2 .....	50

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

c	koncentrace [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
C	cena [Kč]
CHSK	chemická spotřeba kyslíku [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
ČR	Česká republika
DPH	daň z přidané hodnoty [%]
GAU	granulované aktivní uhlí
H	hloubka [m]
K	kalová kapacita [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
L	jednotková výroba filtru [ $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}$ ; m]
$L_f$	filtrační délka [ $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}$ ; m]
$L_p$	prací délka [ $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}$ ; m]
n	počet filtračních jednotek
p	počet filtračních cyklů
pH	vodíkový exponent
Q	průtok, intenzita [ $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
S	plocha [ $\text{m}^2$ ]
SR	Slovenská republika
t	čas [s]
ÚV	úpravna vody
v	rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
V	objem [ $\text{m}^3$ ]

## SUMMARY

Filtration is necessary process in water treatment. It should be designed individually, considering the character of the raw water – this is the key to good filter operation.

Attention should be focused on the right choice of filter bed. There are many types of filter bed available on the market and they are different in their quality and price. The next very important part of the filter is the underdrain system. Its smooth running may help reaching the highest efficiency of water production and backwashing. False-floor underdrain system is a thing of the past, currently being replaced with systems such as Triton or Leopold. To enable the control of the system, there should be enough of measuring instruments such as flowmeters and water level measuring.

If assessment is needed, operator should focus on the proportion between water output and water for backwashing – it should not be more than 4 % of the water output. If it is considered with the filter surface, we can get the filtration and backwashing length thanks to which we can compare more waterwork operations.

The process of water treatment in Kroměříž had good working filters even before it was reconstructed. The filter load had been reduced by the reconstruction. Now filters have 7 days lasting filter cycle and less water is needed for one backwashing. It is only 0,1 % of water output now.

The process of water treatment in Hrobice is not as good as in Kroměříž. It is caused by raw water character. There are three degrees of filtration in there and 3,8 % of their water output is needed for their backwashing.